

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

# **ELECTRON EMISSION ELEMENT AND FIELD EMISSION DISPLAY USING IT**

BQ

**Patent number:** WO02052600  
**Publication date:** 2002-07-04  
**Inventor:** TAKEUCHI YUKIHISA; OHWADA IWAO; HORIUCHI TOMOYA; NANATAKI TSUTOMU  
**Applicant:** NGK INSULATORS LTD (JP)  
**Classification:**  
- international: H01J1/304; H01J1/316; H01J29/04; H01J31/12  
- european: H01J1/304, H01J1/316  
**Application number:** WO2001JP11195 20011220  
**Priority number(s):** JP20000390299 20001222

**Also published as:**

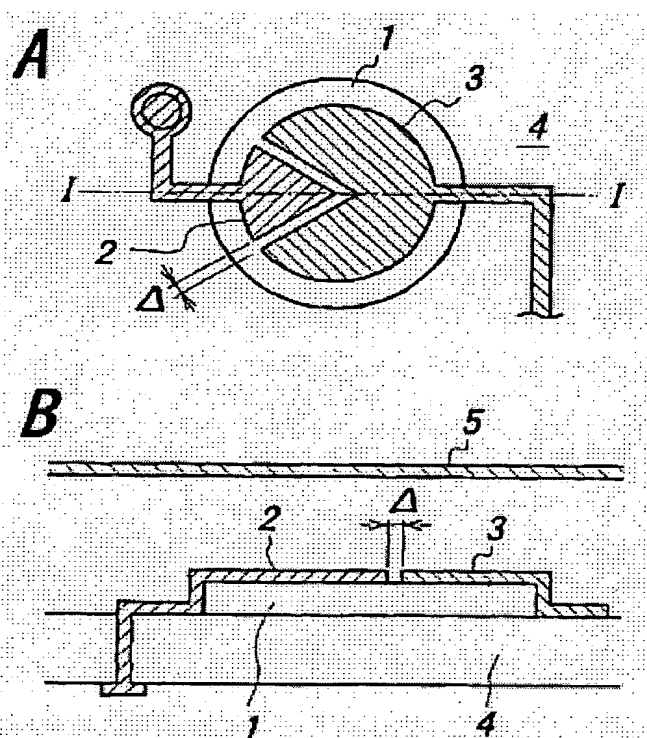
EP1265263 (A1)  
US2002153827 (A1)

**Cited documents:**

JP7147131  
JP2000285801  
JP1311533  
JP46020944B1  
JP44026125B1

**Abstract of WO02052600**

An electron emission element, which comprises an electric field application unit composed of a dielectric, a first electrode formed on one surface thereof, and a second electrode formed on the same surface, for forming a slit along with a drive electrode, and which is formed on a substrate.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 世界知的所有権機関  
国際事務局



(43) 国際公開日  
2002 年 7 月 4 日 (04.07.2002)

PCT

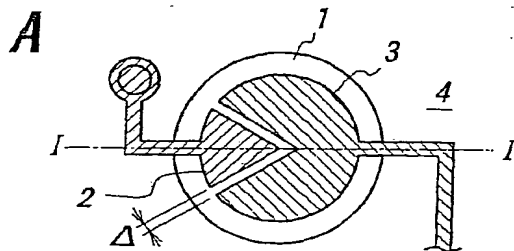
(10) 国際公開番号  
WO 02/052600 A1

- (51) 国際特許分類: H01J 1/304, 1/316, 29/04, 31/12 (72) 発明者: 武内 幸久 (TAKEUCHI, Yukihisa); 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 七瀬 努 (NANATAKI, Tsutomu); 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 大和田 巖 (OHWADA, Iwao); 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP). 堀内 智哉 (HORIUCHI, Tomoya); 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 日本碍子株式会社内 Aichi (JP).
- (21) 国際出願番号: PCT/JP01/11195
- (22) 国際出願日: 2001 年 12 月 20 日 (20.12.2001)
- (25) 国際出願の言語: 日本語
- (26) 国際公開の言語: 日本語
- (30) 優先権データ:  
特願 2000-390299  
2000 年 12 月 22 日 (22.12.2000) JP
- (71) 出願人: 日本碍子株式会社 (NGK INSULATORS, LTD.) [JP/JP]; 〒467-8530 愛知県名古屋市瑞穂区須田町 2 番 5 6 号 Aichi (JP).
- (74) 代理人: 杉村 興作, 外 (SUGIMURA, Kosaku et al.); 〒100-0013 東京都千代田区霞が関 3 丁目 2 番 4 号 霞山ビルディング Tokyo (JP).
- (81) 指定国 (国内): JP.

[続葉有]

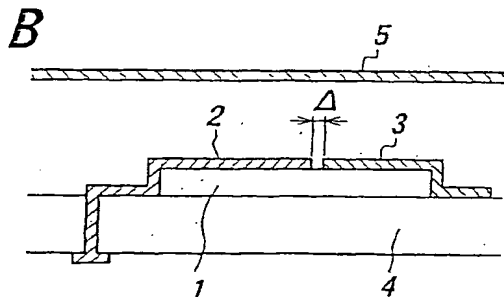
(54) Title: ELECTRON EMISSION ELEMENT AND FIELD EMISSION DISPLAY USING IT

(54) 発明の名称: 電子放出素子及びそれを用いたフィールドエミッションディスプレイ



(57) Abstract: An electron emission element, which comprises an electric field application unit composed of a dielectric, a first electrode formed on one surface thereof, and a second electrode formed on the same surface, for forming a slit along with a drive electrode, and which is formed on a substrate.

(57) 要約:



電子放出素子は、誘電体によって構成された電界印加部と、その一方の面に形成された第 1 電極と、それと同一面に形成され、駆動電極とともにスリットを形成する第 2 電極とを有し、基板の上に形成される。



(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).

2文字コード及び他の略語については、定期発行される各PCTガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

添付公開書類:

— 国際調査報告書

## 明 細 書

## 電子放出素子及びそれを用いたフィールドエミッションディスプレイ

## 技術分野

本発明は、電子放出素子及びそれを用いたフィールドエミッションディスプレイに関するものである。

## 背景技術

このような電子放出素子は、駆動用の電極及び接地用の電極を有し、フィールドエミッションディスプレイ（FED）やバックライトのような種々のアプリケーションに適用されている。FEDに適用する場合、複数の電子放出素子を2次元的に配列し、これら電子放出素子に対する複数の蛍光体が、所定の間隔を以ってそれぞれ配置されている。

しかしながら、従来の電子放出素子の直進性、すなわち、放出された電子が所定の対象（例えば蛍光体）に直進する程度が良好でなく、放出された電子によって所望の電流密度を確保するためには、比較的高い電圧を電子放出素子に印加する必要がある。

また、従来の電子放出素子をFEDに適用した場合、直進性が良好でないためにクロストークが比較的に大きくなる、すなわち、放出された電子が、対応する蛍光体に隣接する蛍光体に入射するおそれが高くなる。その結果、蛍光体のピッチを狭くするのが困難となり、隣接する蛍光体に電子が入射されるのを防止するためにグリッドを設ける必要がある。

本発明の目的は、良好な放出電子の直進性を有する電子放出素子並びにそれを用いたフィールドエミッションディスプレイを提供することである。

本発明の他の目的は、比較的低真空中で、非常に低い駆動電圧にて高い電流密度を有する電子放出を実現する電子放出素子及びそれを用いたフィールドエミッシ

ョンディスプレイを提供することである。

#### 発明の開示

本発明による電子放出素子は、

誘電体によって構成された電界印加部と、

この電界印加部の一方の面に形成された第1電極と、

前記電界印加部の一方の面に形成され、前記第1電極とともにスリットを形成する第2電極とを有することを特徴とするものである。

本発明によれば、第1又は第2電極にパルス電圧を印加すると、電界印加部から電子が放出される。電界印加部を誘電体によって構成することによって、従来の電子放出素子では達成できない良好な直進性を得ることができる。その結果、所望の電流密度を確保するために電子放出素子に印加される電圧が従来に比べて著しく低くなり、消費エネルギーが大幅に低減される。なお、第1及び第2電極を厚膜印刷によって電界印加部に形成することができるので、本発明による電子放出素子は、耐久性及びコスト低減の観点からも好ましい。

電子放出素子に印加される電圧を更に低減させるために、前記第1電極、第2電極及びスリットにカーボンコーティングを施するが好ましい。この場合、カーボンコーティングによって、電子とイオンとの衝突や発熱による第1及び第2電極の損傷のおそれが著しく軽減する。

電子の放出を良好に行うために、前記第1及び第2電極に対して所定の間隔を以って配置した第3電極を更に有し、前記第1及び第2電極と前記第3電極との間の空間を真空とするのが好ましい。

本発明による他の電子放出素子は、

圧電材料、電歪材料及び反強誘電材料のうちの少なくとも1種類によって構成された電界印加部と、

この電界印加部の一方の面に形成された第1電極と、

前記電界印加部の一方の面に形成され、前記第1電極とともにスリットを形成

する第2電極とを有することを特徴とするものである。

本発明によれば、良好な直進性が得られるだけでなく、第1又は第2電極にパルス電圧を印加した際に、電界印加部が、アクチュエータとしても機能し、屈曲変位する。その結果、電子放出素子の直進性が更に向上する。

電子放出素子に印加される電圧を更に低減させるために、前記第1電極、第2電極及びスリットにカーボンコーティングを施するが好ましい。この場合、カーボンコーティングによって、電子とイオンとの衝突や発熱による第1及び第2電極の損傷のおそれが著しく軽減する。

この場合も、電子の放出を良好に行うために、前記第1及び第2電極に対して所定の間隔を以って配置した第3電極を更に有し、前記第1及び第2電極と前記第3電極との間の空間を真空とするのが好ましい。この際には、電界印加部がアクチュエータとしても機能し、その変位動作によって、放出電子量を制御することができる。

好適には、前記第3電極に直流のオフセット電圧を印加する電圧源と、この電圧源と前記第3電極との間に直列配置した抵抗とを更に有する。これによって、所望の電流密度を容易に達成することができるとともに、第3電極と第1及び第2電極との間の短絡が防止される。

例えば、前記第1電極にパルス電圧が印加されるとともに、前記第2電極に直流のオフセット電圧が印加される。

好適には、前記第1電極と電圧信号源との間に直列配置したコンデンサを更に有する。これによって、コンデンサを充填するまでの時間のみ第1電極と第2電極との間に電圧を印加することができ、その結果、第1及び第2電極の短絡による破損が防止される。

前記電界印加部の他方の面に形成され、前記第1電極に対応する第4電極を更に有する場合、第1電極と第3電極との間の電界印加部がコンデンサの機能を果たすので、第1及び第2電極の短絡による破損が防止される。この場合、例えば、

前記第4電極にパルス電圧が印加されるとともに、前記第2電極に直流のオフセット電圧が印加される。

前記第2電極と直流オフセット電圧源との間に直列配置した抵抗を更に有してもよい。この場合、第1電極から第2電極に放電して流れる電流が抵抗によって抑制され、第1及び第2電極の短絡による破損が防止される。

印加電圧の大幅な低減を図るために、前記電界印加部の比誘電率を1000以上とし、及び／又は、前記スリットの幅を500 $\mu$ m以下とするのが好ましい。

電子の放出を良好に行うために、前記第1電極と第2電極のうちの少なくとも一方が、鋭角を成す角部を有し、及び／又は、前記第1電極及び第2電極がカーボンナノチューブを有するのが好ましい。

本発明によるフィールドエミッションディスプレイは、

2次元的に配列された複数の電子放出素子と、

これら電子放出素子に対してそれぞれ所定の間隔を以って配置した複数の蛍光体とを具え、

前記電流放出素子の各々が、

誘電体によって構成された電界印加部と、

この電界印加部の一方の面に形成された第1電極と、

前記電界印加部の一方の面に形成され、前記第1電極とともにスリットを形成する第2電極とを有することを特徴とするものである。

本発明によれば、電子放出素子の直進性が優れているので、従来の電子放出素子を有する場合に比べてクロストークが小さくなり、蛍光体のピッチを狭くすることができ、かつ、隣接する蛍光体に電子が入射されるのを防止するためにグリッドを設ける必要がなくなる。その結果、本発明によるフィールドエミッションディスプレイは、解像度の向上、装置の小型化及びコスト低減の観点から好ましい。なお、フィールドエミッションディスプレイ内部の真空度が比較的低い場合でも電子の放出が可能であるため、蛍光体励起などの原因で内部の真空度が低下



しても電子の放出を維持することができる。なお、従来のフィールドエミッションディスプレイでは、このような真空度の低下に対して、電子放出を維持するためのマージンとして真空空間を比較的大きく確保する必要があり、ディスプレイの薄型化が困難であった。それに対して、本発明では、真空度の低下に対して電子の放出を維持するために真空空間を予め大きく確保する必要がないので、ディスプレイの薄型化が可能となる。

電子放出素子に印加される電圧を更に低減させるために、前記第1電極、第2電極及びスリットにカーボンコーティングを施するが好ましい。この場合、カーボンコーティングによって、電子とイオンとの衝突や発熱による第1及び第2電極の損傷のおそれが著しく軽減する。

電子の放出を良好に行うために、前記第1及び第2電極に対して所定の間隔を以って配置した第3電極を更に有し、前記第1及び第2電極と前記第3電極との間の空間を真空とするのが好ましい。

本発明による他のフィールドエミッションディスプレイは、

2次元的に配列された複数の電子放出素子と、

これら電子放出素子に対してそれぞれ所定の間隔を以って配置した複数の蛍光体とを具え、

前記電流放出素子の各々が、

圧電材料、電歪材料及び反強誘電材料のうちの少なくとも1種類によって構成された電界印加部と、

この電界印加部の一方の面に形成された第1電極と、

前記電界印加部の一方の面に形成され、前記第1電極とともにスリットを形成する第2電極とを有することを特徴とするものである。

本発明によれば、電子放出素子の直進性が更に良好になるので、本発明によるフィールドエミッションディスプレイは、小型化及びコスト低減の観点から更に好ましくなる。

電子放出素子に印加される電圧を更に低減させるために、前記第1電極、第2電極及びスリットにカーボンコーティングを施するが好ましい。この場合、カーボンコーティングによって、電子とイオンとの衝突や発熱による第1及び第2電極の損傷のおそれが著しく軽減する。

この場合も、電子の放出を良好に行うために、前記第1及び第2電極に対して所定の間隔を以って配置した第3電極を更に有し、前記第1及び第2電極と前記第3電極との間の空間を真空とするのが好ましい。この際には、電界印加部がアクチュエータとしても機能し、その変位動作によって、放出電子量を制御することができる。

好適には、前記第3電極に直流のオフセット電圧を印加する電圧源と、この電圧源と前記第3電極との間に直列配置した抵抗とを更に有する。これによって、所望の電流密度すなわち蛍光体の発光量を容易に達成することができるとともに、第3電極と第1及び第2電極との間の短絡が防止される。

例えば、前記第1電極にパルス電圧が印加されるとともに、前記第2電極に直流のオフセット電圧が印加される。

好適には、前記第1電極と電圧信号源との間に直列配置したコンデンサを更に有する。これによって、第1及び第2電極の短絡による破損が防止される。

前記電界印加部の他方の面に形成され、前記第1電極に対応する第4電極を更に有する場合も、第1及び第2電極の短絡による破損が防止される。この場合、例えば、前記第4電極にパルス電圧が印加されるとともに、前記第2電極に直流のオフセット電圧が印加される。

前記第2電極と直流オフセット電圧源との間に直列配置した抵抗を更に有する場合も、第1及び第2電極の短絡による破損が防止される。

印加電圧の大幅な低減を図るために、前記電界印加部の比誘電率を1000以上とし、及び／又は、前記スリットの幅を500  $\mu\text{m}$ 以下とするのが好ましい。

電子の放出を良好に行うために、前記第1電極と第2電極のうちの少なくとも

一方が、鋭角を成す角部を有し、及び／又は、前記第 1 電極及び第 2 電極がカーボンナノチューブを有するのが好ましい。

本発明によるフィールドエミッションディスプレイは、2 次元的に配列された複数の電子放出素子を一体に形成した基板を更に具える。

#### 図面の簡単な説明

図 1 は、本発明による電子放出素子の第 1 の実施の形態を示す図である。

図 2 は、本発明による電子放出素子の第 2 の実施の形態を示す図である。

図 3 は、本発明による電子放出素子の第 3 の実施の形態を示す図である。

図 4 は、本発明による電子放出素子の第 4 の実施の形態を示す図である。

図 5 は、本発明による電子放出素子の第 5 の実施の形態を示す図である。

図 6 は、本発明による電子放出素子の第 6 の実施の形態を示す図である。

図 7 は、本発明による電子放出素子の動作を説明するための図である。

図 8 は、本発明による他の電子放出素子の動作を説明するための図である。

図 9 は、本発明による FED の実施の形態を示す図である。

図 10 は、本発明による電子放出素子の比誘電率と印加電圧との関係を示す図である。

図 11 は、図 10 を説明するための図である。

図 12 は、本発明による電子放出素子のスリット幅と印加電圧との関係を示す図である。

図 13 は、本発明による電子放出素子の第 7 の実施の形態を示す図である。

図 14 は、図 13 の電子放出素子の動作を説明するための図である。

図 15 は、本発明による電子放出素子の第 8 の実施の形態を示す図である。

図 16 は、図 15 の電子放出素子の動作を説明するための図である。

#### 発明を実施するための最良の形態

本発明による電子放出素子及びそれを用いたフィールドエミッションディスプレイの実施の形態を、図面を参照して詳細に説明する。

図1 Aは、本発明による電子放出素子の第1の実施の形態の上面図であり、図1 Bは、そのI-I断面図である。この電子放出素子は、誘電体によって構成された電界印加部1と、その一方の面に形成された第1電極としての駆動電極2と、それと同一面に形成され、駆動電極2とともにスリットを形成する第2電極としてのコモン電極3とを有し、基板4の上に形成される。好適には、この電子放出素子は、放出された電子を良好に捕獲するために、電界印加部1の一方の面に対して所定の間隔を配置した第3電極としての電子捕獲電極5を更に有し、これらの間の空間を真空状態に保持する。また、駆動電極2及びコモン電極3の短絡による破損を防止するために、駆動電極2と図示しない電圧信号源との間に、図示しないコンデンサを直列配置し、及び/又は、コモン電極3と図示しない直流オフセット電圧源との間に、図示しない抵抗を直列配置する。

電界印加部1を構成する誘電体として、好適には、比誘電率が比較的高い、例えば1000以上の誘電体を採用する。このような誘電体としては、チタン酸バリウム他に、ジルコン酸鉛、マクネシウムニオブ酸鉛、ニッケルニオブ酸鉛、亜鉛ニオブ酸鉛、マンガンニオブ酸鉛、マグネシウムタンタル酸鉛、ニッケルタンタル酸鉛、アンチモンスズ酸鉛、チタン酸鉛、チタン酸バリウム、マグネシウムタングステン酸鉛、コバルトニオブ酸鉛等又はこれらの任意の組合せを含有するセラミックスや、主成分がこれらの化合物を50重量%以上含有するものや、前記セラミックスに対して更にランタン、カルシウム、ストロンチウム、モリブデン、タングステン、バリウム、ニオブ、亜鉛、ニッケル、マンガン等の酸化物若しくはこれらのいずれかの組合せ又は他の化合物を適切に添加したもの等を挙げることができる。例えば、マグネシウムニオブ酸鉛(PMN)とチタン酸鉛(PT)の2成分系 $n\text{PMN}-m\text{PT}$  ( $n, m$ をモル数比とする。)においては、PMNのモル数比を大きくすると、キュリー点が下げられて、室温での比誘電率を大きくすることができる。特に、 $n=0.85-1.0$ ,  $m=1.0-n$ で比誘電率3000以上となり好ましい。例えば、 $n=0.91$ ,  $m=0.09$ で室温の

比誘電率15000,  $n=0.95$ ,  $m=0.05$ で室温の比誘電率20000が得られる。次に、マグネシウムニオブ酸鉛 (PMN)、チタン酸鉛 (PT)、ジルコン酸鉛 (PZ) の3成分系では、PMNのモル数比を大きくする他に、正方晶と擬立方晶又は正方晶と菱面体晶のモルフォトロピック相境界 (MPB: Morphotropic Phase Boundary) 付近の組成とすることが比誘電率を大きくするのに好ましい。例えば、 $PMN:PT:PZ=0.375:0.375:0.25$ にて比誘電率5500,  $PMN:PT:PZ=0.5:0.375:0.125$ にて比誘電率4500となり、特に好ましい。さらに、絶縁性が確保できる範囲内でこれらの誘電体に白金のような金属を混入して、誘電率を向上させるのが好ましい。この場合、例えば、誘電体に白金を重量比で20%混入させる。

本実施の形態では、駆動電極2は、鋭角を成す角部を有する。駆動電極2には、図示しない電源からパルス電圧が印加され、主に角部から電子が放出される。なお、電子の放出を良好に行うために、駆動電極2とコモン電極3との間のスリット幅 $\Delta$ を、好適には $500\mu m$ 以下にする。駆動電極2を、高温酸化雰囲気に対して耐性を有する導体、例えば金属単体、合金、絶縁性セラミックスと金属単体との混合物、絶縁性セラミックスと合金との混合物等によって構成し、好適には、白金、パラジウム、ロジウム、モリブデン等の高融点貴金属や、銀-パラジウム、銀-白金、白金-パラジウム等の合金を主成分とするものや、白金とセラミックス材料とのサーメット材料によって構成する。更に好適には、白金のみ又は白金系の合金を主成分とする材料によって構成する。また、電極として、カーボン、グラファイト系の材料、例えば、ダイヤモンド薄膜、ダイヤモンドライクカーボン、カーボンナノチューブも好適に使用される。なお、電極材料中に添加させるセラミックス材料の割合は、5-30体積%程度が好適である。

駆動電極2を形成するに当たり、上記材料を用いて、スクリーン印刷、スプレー、コーティング、ディッピング、塗布、電気泳動法等の各種の厚膜形成方法や、スパッタリング、イオンビーム、真空蒸着、イオンプレーティング、CVD、め

つき等の各種の薄膜形成手法による通常の膜形成手法に従って形成することができ、好適には、これら厚膜形成手法によって形成される。

厚膜形成手法によって駆動電極 2 を形成する場合、その厚さは、一般的には 20  $\mu\text{m}$  以下となり、好適には 5  $\mu\text{m}$  以下となる。

コモン電極 3 には、直流のオフセット電圧が印加され、図示しないスルーホールを通じて基盤 4 の裏面から配線として引き出される。

コモン電極 3 は、駆動電極 2 と同様な材料及び手法によって形成されるが、好適には上記厚膜形成手法によって形成する。コモン電極 3 の厚さも、一般的には 20  $\mu\text{m}$  以下とし、好適には 5  $\mu\text{m}$  以下とする。

駆動電極 2 に電氣的に接続した配線と、コモン電極 3 に電氣的に接続した配線とを電氣的に分離するために、基板 4 を電氣的な絶縁材料で構成するのが好ましい。

したがって、基板 4 を、高耐熱性の金属や、その金属表面をガラスなどのセラミックス材料によって被覆したホーローのような材料によって構成することができるが、セラミックスで構成するのが最適である。

基板 4 を構成するセラミックスとしては、例えば、安定化された酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化チタン、スピネル、ムライト、窒化アルミニウム、窒化珪素、ガラス、これらの混合物等を使用することができる。その中でも、酸化アルミニウム及び安定化された酸化ジルコニウムが、強度及び剛性の観点から好ましい。安定化された酸化ジルコニウムは、機械的強度が比較的高いこと、靱性が比較的高いこと、駆動電極 2 及びコモン電極 3 との化学反応が比較的小さいことなどの観点から特に好適である。なお、安定化された酸化ジルコニウムとは、安定化酸化ジルコニウム及び部分安定化酸化ジルコニウムを包含する。安定化された酸化ジルコニウムでは、立方晶などの結晶構造をとるため、相転移が生じない。

一方、酸化ジルコニウムは、1000℃前後で単斜晶と正方晶との間を相転移

し、このような相転移の際にクラックが発生するおそれがある。安定化された酸化ジルコニウムは、酸化カルシウム、酸化マグネシウム、酸化イットリウム、酸化スカンジウム、酸化イッテルビウム、酸化セリウム、希土類金属の氧化物等の安定剤を、1-30モル%含有する。なお、基板4の機械的強度を向上させるために、安定化剤が酸化イットリウムを含有するのが好適である。この場合、酸化イットリウムを、好適には1.5-6モル%、更に好適には2-4モル%含有し、更に0.1-5モル%の酸化アルミニウムを含有するのが好ましい。

また、結晶相を、立方晶+単斜晶の混合相、正方晶+単斜晶の混合相、立方晶+正方晶+単斜晶の混合相等とすることができるが、その中でも、主たる結晶相を、正方晶又は正方晶+立方晶の混合相としたものが、強度、靱性及び耐久性の観点から最適である。

基板4をセラミックスから構成した場合、比較的多数の結晶粒が基板4を構成するが、基板4の機械的強度を向上させるためには、結晶粒の平均粒径を、好適には0.05-2 $\mu$ mとし、更に好適には0.1-1 $\mu$ mとする。

電界印加部1、駆動電極2及びコモン電極3をそれぞれ形成する度に熱処理すなわち焼成して基板4と一体構造にすることができ、また、これら電界印加部1、駆動電極2及びコモン電極3を形成した後、同時に熱処理すなわち焼成して、これらを同時に基板4に一体に結合することもできる。

なお、駆動電極2及びコモン電極3の形成手法によっては、一体化のための熱処理すなわち焼成を必要としない場合もある。

基板4と、電界印加部1、駆動電極2及びコモン電極3とを一体化させるための熱処理すなわち焼成温度としては、一般に500-1400 $^{\circ}$ Cの範囲とし、好適には、1000-1400 $^{\circ}$ Cの範囲とする。さらに、膜状の電圧印加部1を熱処理する場合、高温時に電界印加部1の組成が不安定にならないように、電界印加部1の蒸発源とともに雰囲気制御を行いながら熱処理すなわち焼成を行うのが好ましく、また、電界印加部1を適切な部剤によってカバーし、電界印加部1の

表面が焼成雰囲気中に直接露出しないようにして焼成する手法を採用するのが好ましい。この場合、カバーする部材としては、基板 4 と同様な材料を用いることとなる。

図 2 A は、本発明による電子放出素子の第 2 の実施の形態の上面図であり、図 2 B は、その II-II 断面図である。この電子放出素子は、電界印加部 1、駆動電極 2 及びコモン電極 3 にそれぞれ対応する電界印加部 1 1、駆動電極 1 2 及びコモン電極 1 3 の他に、電界印加部 1 1 の他方の面に形成された第 4 電極としての駆動端子電極 1 4 を更に有し、基板 1 5 の上に形成される。この場合も、好適には、電子放出素子は、放出された電子を良好に捕獲するために、電界印加部 1 の一方の面に対して所定の間隔を配置した第 3 電極としての電子捕獲電極 1 6 を更に有し、これらの間の空間を真空状態に保持する。

本実施の形態では、駆動電極 1 2 と駆動端子電極 1 4 との間の電界印加部 1 1 がコンデンサの役割を果たすので、駆動電極 1 2 及びコモン電極 1 3 の短絡による破損を防止するためにコンデンサを別に設ける必要がなくなる。この場合、駆動端子電極 1 4 にパルス電圧が印加されるとともに、コモン電極 1 3 に直流のオフセット電圧が印加される。

駆動端子電極 1 4 も、駆動電極 1 2 及びコモン電極 1 3 と同様な材料及び手法によって形成されるが、好適には上記厚膜形成手法によって形成する。駆動端子電極 1 4 の厚さも、一般的には  $20\text{ }\mu\text{m}$  以下、好適には  $5\text{ }\mu\text{m}$  以下にする。

図 3 A は、本発明による電子放出素子の第 3 の実施の形態の上面図であり、図 3 B は、その III-III 断面図である。本実施の形態では、第 1 の実施の形態と同様に電界印加部 2 1 の一方の面に駆動電極 2 2 及びコモン電極 2 3 が形成されるが、これら駆動電極 2 2 及びコモン電極 2 3 の表面には複数のカーボンナノチューブ (CNT) が設けられており、これによって、駆動電極 2 2 にパルス電圧を印加するとともに、コモン電極 2 3 に直流のオフセット電圧を印加すると、CNT の先端から電子が放出されやすくなる。



図 4 A は、本発明による電子放出素子の第 4 の実施の形態の上面図であり、図 4 B は、その IV-IV 断面図である。本実施の形態では、第 2 の実施の形態と同様に電界印加部 3 1 の一方の面に駆動電極 3 2 及びコモン電極 3 3 が形成されるとともにその他方の面に駆動端子電極 3 4 が形成されているが、これら駆動電極 3 2 及びコモン電極 3 3 の表面には複数のカーボンナノチューブ (CNT) が設けられており、これによって、駆動端子電極 3 3 にパルス電圧を印加するとともに、コモン電極 3 3 に直流のオフセット電圧を印加すると、CNT の先端から電子が放出されやすくなる。

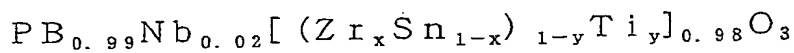
図 5 A は、本発明による電子放出素子の第 5 の実施の形態の上面図であり、図 5 B は、その V-V 断面図である。本実施の形態では、電界印加部 4 1 の一方の面に櫛歯形状の駆動電極 4 2 及びコモン電極 4 3 を形成する。この場合、駆動電極 4 2 にパルス電圧が印加されるとともに、コモン電極 4 3 に直流のオフセット電圧が印加されると、これら駆動電極 4 2 及びコモン電極 4 3 の角部から電子が放出されやすくなる。

図 6 A は、本発明による電子放出素子の第 6 の実施の形態の上面図であり、図 6 B は、その VI-VI 断面図である。本実施の形態では、電子放出素子は、反強誘電材料によって構成した電界印加部 5 1 a, 5 1 b と、その一方の面にそれぞれ形成した櫛歯形状の駆動電極 5 2 a, 5 2 b 及びコモン電極 5 3 a, 5 3 b とを有する。

電子放出素子は、スペーサ層 5 4 を介して基板 5 5 の上に設けられたシート層 5 6 の上に配置される。これによって、電界印加部 5 1 a, 5 1 b、駆動電極 5 2 a, 5 2 b、コモン電極 5 3 a, 5 3 b、シート層 5 6 及びスペーサ層 5 4 は、アクチュエータ 5 7 a, 5 7 b をそれぞれ構成する。

電界印加部 5 1 a, 5 1 b を構成する反強誘電材料としては、ジルコン酸鉛を主成分とするもの、ジルコン酸鉛とスズ酸鉛とからなる成分を主成分とするもの、ジルコン酸鉛に酸化ランタンを添付したもの、ジルコン酸鉛とスズ酸鉛とからな

る成分に対してジルコン酸鉛やニオブ酸鉛を添加したものをを用いるのが好適である。特に、低電圧で駆動させる場合には、ジルコン酸鉛とスズ酸鉛とからなる成分を含む反強誘電材料を用いるのが好適である。この組成は、以下のようになる。



また、反強誘電材料を多孔質にすることもでき、この場合、気孔率を30%以下にするのが好適である。

電界印加部51a, 51bを形成するに当たり、上記厚膜形成手法を用いて形成するのが好適であり、微細な印刷を廉価に行うことができるという理由から、スクリーン印刷法が特に好適に用いられる。なお、電界印加部51a, 51bの厚さとしては、低作動電圧で大きな変位を得るなどの理由から、スクリーン印刷法が特に好適に用いられる。なお、電界印加部51a, 51bの厚さとしては、低作動電圧で大きな変位を得るなどの理由から、好適には50μm以下とし、更に好適には、3-40μmとする。

このような厚膜形成手法によって、平均粒子径が0.01-7μm程度、好適には0.05-5μm程度の反強誘電材料のセラミック粒子を主成分とするペーストやスラリーを用いて、シート層56の表面上に膜形成することができ、良好な素子特性が得られる。

電気泳動法は、高密度かつ高い形状制御で膜を形成でき、技術文献「DENKI KAGAKU 53, No. 1 (1985), p63-68 安斎和夫著」や、「第1回電気泳動法によるセラミックスの高次成形法 研究討論会 予稿集 (1998), p5-6, p23-24」に記載されているような特徴を有する。したがって、要求精度、信頼性等を考慮して、各種手法を適切に選択して用いるのが好適である。

シート層56は、比較的肉薄に形成され、外部応力に対して振動を受けやすい構造となっている。シート層56を、好適には高耐熱性材料で構成する。その理由は、図2及び4のように駆動端子電極をシート層56に直接接合するに当たり、

有機接着剤などの耐熱性の比較的低い材料を使用することなくシート層 5 6 を直接支持する構造をとる場合、少なくとも電界印加部 5 1 a, 5 1 b の形成時にシート層 5 6 が変質するのを防止するためである。なお、シート層 5 6 をセラミックスで構成する場合、図 1 の基板 4 と同様に構成する。

スペーサ層 5 4 を、好適にはセラミックスから構成するが、それを、シート層 5 6 を構成するセラミックス材料と同一とすることも、それとは異なるセラミックス材料とすることもできる。そのようなセラミックスとしては、シート層 5 6 を構成するセラミックス材料と同様に、例えば、安定化された酸化ジルコニウム、酸化アルミニウム、酸化マグネシウム、酸化チタン、スピネル、ムライト、窒化アルミニウム、窒化珪素、ガラス、これらの混合物等を使用することができる。

スペーサ層 5 4、基板 5 5 及びシート層 5 6 を構成するセラミックス材料と異なるセラミックス材料としては、酸化ジルコニウムを主成分とする材料、酸化アルミニウムを主成分とする材料、これらの混合物を主成分とする材料等が好適に採用される。その中でも、酸化ジルコニウムを主成分としたものが特に好ましい。なお、焼結助剤として粘土などを添付することもあるが、酸化珪素、酸化ホウ素等のガラス化しやすいものが過剰に含まれないように、助剤成分を調整する必要がある。その理由は、これらガラス化しやすい材料は、電界印加部 5 1 a, 5 1 b との接合の観点からは有利であるが、電界印加部 5 1 a, 5 1 b との反応を促進し、電界印加部 5 1 a, 5 1 b が所定の組成を維持するのが困難となり、その結果、素子特性を低下させる原因となるからである。

すなわち、スペーサ層 5 4、基板 5 5 及びシート層 5 6 に含まれる酸化珪素などを、重量比で 3 % 以下、好適には 1 % 以下となるように制限するのが好ましい。ここで、主成分とは、重量比で 5 0 % 以上の割合で存在する成分をいう。

スペーサ層 5 4、基板 5 5 及びシート層 5 6 を 3 層の積層体として構成するのが好適であり、この場合、例えば、一体同時焼成、ガラスや樹脂によって各層を接合一体化又は後付けを行う。なお、4 層以上の積層体とすることもできる。

本実施の形態のように電界印加部 5 1 a, 5 1 b を反強誘電体材料によって構成した場合、電界が加えられない状態では、電界印加部 5 1 b のように平坦形状となり、それに対して、電界が加えられると、電界印加部 5 1 a のように凸状に屈曲変位する。このように凸状に屈曲変位することによって、電子放出素子とそれに対向する電子捕獲電極 5 8 との間の間隔が狭くなるので、矢印で示したように発生する電子の直進性が更に良好になる。したがって、この屈曲変位量を以って、電子捕獲電極 5 8 に到達する放出電子量を制御することが可能である。

次に、本発明による電子放出素子の動作を説明する。

図 7 は、本発明による電子放出素子の動作を説明するための図である。この場合、電流制御素子 6 1 は、図 1 に示す構成を有し、その周辺は、真空チャンバ 6 2 によって真空状態に保持される。また、駆動電極 6 3 とコモン電極 6 4 との間の短絡を防止するために、駆動電極 6 3 と電圧信号源 6 5 との間にコンデンサ 6 6 を直列配置している。駆動電極 6 3 及びコモン電極 6 4 に対向する電子捕獲電極 6 7 には、バイアス電圧  $V_b$  が印加される。

信号電圧源 6 5 に印加される電圧  $V_1$  を  $-400\text{ V}$  とし、コンデンサ 6 6 の容量を  $500\text{ pF}$  とし、バイアス電圧  $V_b$  を  $0\text{ V}$  とし、駆動電極 6 3 とコモン電極 6 4 とによって形成されるスリットの幅を  $10\text{ }\mu\text{m}$  とし、真空チャンバ 6 2 の内部の真空度を  $1 \times 10^{-3}\text{ Pa}$  とした場合、駆動電極 6 3 に流れる電流  $I_1$  が  $2.0\text{ A}$  となり、電子捕獲電極 6 7 から取り出されるコレクタ電流  $I_c$  の密度が  $1.2\text{ A/cm}^2$  となる。その結果、本発明の電子放出素子によれば、従来の電子放出素子に比べて、低い電圧及び低い真空度で高い電流密度が得られ、その結果、優れた直進性を示す。なお、図 7 B に示すように、コレクタ電流  $I_c$  は、バイアス電圧  $V_b$  が高くなるに従って大きくなる。

図 8 は、本発明による他の電子放出素子の動作を説明するための図である。この場合、電流制御素子 7 1 は、図 2 に示す構成を有し、その周辺は、真空チャンバ 7 2 によって真空状態に保持される。また、駆動電極 7 3 とコモン電極 7 4 と

の間の短絡を防止するために、駆動電極 7 3 と駆動端子電極 7 5 との間の電界印加部 7 6 がコンデンサの役割を果たす。駆動電極 7 3 及びコモン電極 7 4 には、電子捕獲電極 7 7 が対向する。

信号電圧源 7 8 に印加される電圧  $V_1$  を  $-400\text{ V}$  とし、電界印加部 7 6 が  $530\text{ pF}$  の容量のコンデンサの役割を果たし、駆動電極 7 3 とコモン電極 7 4 とによって形成されるスリットの幅を  $10\text{ }\mu\text{m}$  とし、真空チャンバ 7 2 の内部の真空度を  $1 \times 10^{-3}\text{ Pa}$  とした場合、駆動端子電極 7 5 に流れる電流  $I_1$  が  $2.0\text{ A}$  となり、電子捕獲電極 7 7 から取り出されるコレクタ電流  $I_c$  の密度が  $1.2\text{ A/cm}^2$  となる。その結果、本発明の他の電子放出素子によれば、従来の電子放出素子に比べて、低い電圧及び低い真空度で高い電流密度が得られ、その結果、優れた直進性を示す。なお、電圧  $V_1$ 、電流  $I_c$ 、 $I_1$ 、 $I_2$  の波形を、図 8 B において曲線 a-d でそれぞれ示す。

図 9 は、本発明による FED の実施の形態を示す図である。この FED は、2 次元的に配列された複数の電子放出素子 8 1 R、8 1 G、8 1 B と、これら電子放出素子 8 1 R、8 1 G、8 1 B に対してそれぞれ所定の間隔を以って配置した赤色蛍光体 8 2 R、緑色蛍光体 8 2 G 及び青色蛍光体 8 2 B とを具える。

本実施の形態では、電子放出素子 8 1 R、8 1 G、8 1 B が基板 8 3 に形成され、赤色蛍光体 8 2 R、緑色蛍光体 8 2 G 及び青色蛍光体 8 2 B が電子捕獲電極 8 4 を介してガラス基板 8 5 に形成される。電子放出素子 8 1 R、8 1 G、8 1 B は、図 2 に示す構造を有するが、図 1、3-6 のうちのいずれかの構造を有することもできる。

本実施の形態によれば、電子放出素子 8 1 R、8 1 G、8 1 B の直進性が優れているので、従来の電子放出素子を有する場合に比べてクロストークが小さくなり、蛍光体 8 2 R、8 2 G、8 2 B のピッチを狭くすることができ、かつ、隣接する蛍光体 8 2 R、8 2 G、8 2 B に電子が入射されるのを防止するためにグリッドを設ける必要がなくなる。その結果、本実施の形態の FED は、小型化及び

コスト低減の観点から好ましい。なお、真空度が比較的低い場合でも電子の放出が可能であるので、真空空間を予め大きくして真空度の低下に対するマージンをみる必要がなくなり、FEDの薄型化の制約が少なくなる。

図10は、本発明による電子放出素子の比誘電率と印加電圧との関係を示す図であり、図11は、それを説明するための図である。図10の特性は、図11に示すように駆動電極91とコモン電極92a-92cとによって形成されるスリットの幅d1、d2がいずれも10 $\mu$ mである場合の電界印加部の比誘電率と、電界の放出に必要な印加電圧との関係を示す図である。

図10に示すように、従来の電子放出素子に比べて低い印加電圧を用いて電子放出素子を駆動させる場合、比誘電率を1000以上にするのが好ましいことがわかる。

図12は、本発明による電子放出素子のスリット幅と印加電圧との関係を示す図である。図12から、電子放出現象が生じるためにはスリット幅を500 $\mu$ m以下にする必要があることがわかる。なお、市販のプラズマディスプレイ、蛍光表示管又は液晶ディスプレイで用いられるドライバICで本発明による電子放出素子を駆動するためには、スリット幅を20 $\mu$ m以下にする必要がある。

図13Aは、本発明による電子放出素子の第7の実施の形態の上面図であり、図13Bは、そのVII-VII断面図である。本実施の形態では、電界印加部101の一方の側に半円形状の駆動電極102及びコモン電極103を形成し、駆動電極102、コモン電極103及びこれらによって形成されたスリットにカーボンコーティング104を施す。

図13に示す構成を有する電子放出素子の動作を、図14を用いて説明する。この場合、電流放出素子の周辺は、真空チャンバ111によって真空状態に保持される。駆動電極102とコモン電極103との間の短絡を防止するために、駆動電極102と電圧信号源112との間にコンデンサ113を直列配置している。駆動電極102及びコモン電極103に対向する電子捕獲電極114には、蛍光

体115が設けられ、バイアス電圧 $V_b$ が印加される。

駆動電極102及びコモン電極103は、膜厚 $3\mu\text{m}$ のAuであり、これら駆動電極102及びコモン電極103と、その間のスリット部とに対して、カーボン膜コーティング104（膜厚 $3\mu\text{m}$ ）を行った。信号電圧源112に印加される電圧 $V_k$ を25Vとし、コンデンサ113の容量を5nFとし、バイアス電圧 $V_b$ を300Vとし、電界印加部101を、比誘電率が14000の電歪材料で構成し、駆動電極102とコモン電極103とによって形成されるスリットの幅を $10\mu\text{m}$ とし、真空チャンバ111の内部の真空度を $1\times 10^{-3}\text{Pa}$ とした場合、電子捕獲電極114に流れる電流 $I_c$ は0.1Aとなり、駆動電極102に流れる電流 $I_1$ （0.25A）に対して約40%の電流を電子流として取り出しており、駆動電極102とコモン電極103との間の電圧 $V_s$ 、すなわち、電子の放出に必要な電圧が23.8Vとなる。その結果、図13に示す電子放出素子によれば、電子の放出に必要な電圧を著しく低くすることができる。また、カーボンコーティング104によって、電子又はイオンの衝突や発熱によって駆動電極102及びコモン電極103が損傷されるおそれが著しく軽減される。なお、駆動電極102に流れる電流 $I_1$ 、コモン電極103に流れる電流 $I_2$ 、 $I_c$ 及び電圧 $V_s$ の波形を、図14Bにおいて曲線e-hでそれぞれ示す。

図15Aは、本発明による電子放出素子の第8の実施の形態の上面図であり、図15Bは、そのVIII-VIII断面図である。本実施の形態では、電界印加部201の一方の側に半円形状の駆動電極202及びコモン電極203を形成する。

図15に示す構成を有する電子放出素子の場合、すなわち、カーボンコーティングを有しない場合でも、 $200\text{Pa}$ 以下の低い真空度で電子を放出することとを、図16を用いて説明する。この場合、電流放出素子の周辺は、真空チャンバ211によって真空状態に保持される。駆動電極202とコモン電極203との間の短絡を防止するために、駆動電極202と電圧信号源212との間にコンデ

ンサ213を直列配置している。駆動電極202及びコモン電極203に対向する電子捕獲電極214には、蛍光体215が設けられ、バイアス電圧 $V_b$ が印加される。

駆動電極202及びコモン電極203の材質は共にAuであり、信号電圧源212に印加される電圧 $V_k$ を160Vとし、コンデンサ213の容量を5nFとし、バイアス電圧 $V_b$ を300Vとし、電界印加部201を、比誘電率が4500の電歪材料で構成し、駆動電極202とコモン電極203とによって形成されるスリットの幅を10 $\mu$ mとし、真空チャンバ211の内部の真空度を200Pa以下とした場合、電子捕獲電極214に流れる電流 $I_c$ は1.2Aとなり、駆動電極202に流れる電流 $I_1$  (2A) に対して約60%の電流を電子流として取り出しており、駆動電極202とコモン電極203との間の電圧 $V_s$ 、すなわち、電子の放出に必要な電圧が153Vとなる。なお、電流 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_c$ 及び電圧 $V_s$ の波形を、図16Bにおいて曲線i-1でそれぞれ示す。

上記のように200Pa以下の非常に低い真空度で十分な電子放出が可能なのは、カーボンコーティングを有する場合も同様である。

本発明による電子放出素子によれば、200Pa以下の非常に低い真空度で電子を放出することができるので、FEDを構成する場合、パネル外周部の封止空間を非常に小さくすることができるので、狭額縁パネルを実現することができる。また、複数のパネルを並べてディスプレイを大型化する場合、パネル間の継ぎ目が目立ちにくくなる。さらに、従来のFEDでは、蛍光体などから発生するガスによるFEDの内部空間の真空度が低下し、パネルの耐久性に悪影響を及ぼすおそれがあるが、本発明による電子放出素子を用いたディスプレイによれば、200Pa以下の非常に低い真空度で電子を放出することができるので、FEDの内部空間の真空度の低下による悪影響が大幅に軽減され、パネルの耐久性及び信頼性が大幅に向上する。

本発明による電子放出素子及びそれを用いたFEDによれば、従来に比べて簡



単かつ小型化にすることができる。これについて具体的に説明すると、先ず、FEDの内部空間の真空度を低くすることができるので、FEDの外周封止部などの内外圧力差に対する筐体維持構造を単かつ小型化にすることができる。

また、電子を放出するために必要な印加電圧及び電子捕獲電極に印加すべきバイアス電圧を比較的低くすることができるので、FEDを耐圧構造とする必要がなくなり、装置全体の小型化及びパネルの薄型化が可能となる。なお、電子捕獲電極に印加すべきバイアス電圧を、0Vとしてもよい。

また、本発明による電子放出素子の電界印加部を構成するに際し、スピント型の電子放出素子を構成する場合のように特殊な加工を必要とせず、さらに、電極及び電界印加部を厚膜印刷で形成できるので、本発明による電子放出素子及びそれを用いたFEDを、従来に比べて低コストで製造することができる。

さらに、電子を放出するために必要な印加電圧及び電子捕獲電極に印加すべきバイアス電圧を比較的低くすることができるので、耐圧が比較的小さい小型で廉価な駆動ICを使用することができるので、本発明による電界放出素子を用いたFEDを廉価に製造することができる。

本発明は、上記実施の形態に限定されるものではなく、幾多の変更及び変形が可能である。

例えば、本発明による電子放出素子を、バックライトのような他のアプリケーションに適用することもできる。本発明による電子放出素子は、比較的大量の電子線を比較的低い電圧で放出することができるので、紫外線放射方式が主流であった従来の殺菌装置に代えて、小型かつ高効率の殺菌装置を構成するのに好適である。また、本発明による電子放出素子は、角部を有する他の任意の電極構造を採用することができる。さらに、駆動電極とコモン電極との間の短絡を防止するために、第2電極すなわちコモン電極と直流オフセット電圧源との間に抵抗を直列配置することもできる。

第6の実施の形態において、電界印加部51a、51bを反誘電材料によって

構成した場合について説明したが、電界印加部 51a, 51b を、圧電材料、電歪材料及び反誘電材料のうちの少なくとも 1 種類によって構成すればよい。圧電材料及び／又は電歪材料を用いる場合、例えば、ジルコン酸鉛（PZ系）を主成分とする材料、ニッケルニオブ酸鉛を主成分とする材料、亜鉛ニオブ酸鉛を主成分とする材料、マンガンニオブ酸鉛を主成分とする材料、マグネシウムタンタル酸鉛を主成分とする材料、ニッケルタンタル酸鉛を主成分とする材料、アンチモンズ酸鉛を主成分とする材料、チタン酸鉛を主成分とする材料、マグネシウムタングステン酸鉛を主成分とする材料、コバルトニオブ酸鉛を主成分とする材料又はこれらの任意の組合せを含有する複合材料を用いることができ、これらのうち、ジルコン酸鉛を含有するセラミックスが圧電材料及び／又は電歪材料として最も使用頻度が高い。

圧電材料及び／又は電歪材料をセラミックスとした場合、上記材料に、ランタン、バリウム、ニオブ、亜鉛、セリウム、カドミウム、クロム、コバルト、アンチモン、鉄、イットリウム、タンタル、タングステン、ニッケル、マンガン、リチウム、ストロンチウム、ビスマス等の化合物若しくはこれらのいずれかの組合せ又は他の化合物を適切に添加した適切な材料とし、例えば PLZT 系となるようにその材料に所定の添加物を加えたものも好適に用いられる。

これら圧電材料及び／又は電歪材料の中でも、マグネシウムニオブ酸鉛とジルコン酸鉛とチタン酸鉛とからなる成分を主成分とする材料、ニッケルニオブ酸鉛とマグネシウムニオブ酸鉛とジルコン酸鉛とチタン酸鉛とからなる成分を主成分とする材料、マグネシウムニオブ酸鉛とニッケルタンタル酸鉛とジルコン酸鉛とチタン酸鉛とからなる成分を主成分とする材料、マグネシウムタンタル酸鉛とマグネシウムニオブ酸鉛とジルコン酸鉛とチタン酸鉛とからなる成分を主成分とする材料、これらの材料の鉛の一部をストロンチウム及び／又はランタンで置換したもの等が好適に用いられ、上記スクリーン印刷などの厚膜形成手法で電界印加部 51a, 51b を形成する場合の材料として好適である。

多成分系圧電材料及び／又は電歪材料の場合、成分の組成によって、圧電及び／又は電歪特性が変化するが、第6の実施の形態で好適に採用されるマグネシウムニオブ酸鉛－ジルコン酸鉛－チタン酸鉛の3成分系材料や、マグネシウムニオブ酸鉛－ニッケルタンタル酸鉛－チタン酸鉛及びマグネシウムタンタル酸鉛－マグネシウムニオブ酸鉛－ジルコン酸鉛－チタン酸鉛の4成分系材料では、擬立方晶－正方晶－菱面体晶の相境界付近の組成が好ましく、特に、マグネシウムニオブ酸鉛：15－50モル%、ジルコン酸鉛：10－45モル%、チタン酸鉛：30－45モル%の組成や、マグネシウムニオブ酸鉛：15－50モル%、ニッケルタンタル酸鉛：10－40モル%、ジルコン酸鉛：10－45モル%、チタン酸鉛：30－45モル%の組成及びマグネシウムニオブ酸鉛：15－50モル%、マグネシウムタンタル酸鉛：10－40モル%、ジルコン酸鉛：10－45モル%、チタン酸鉛：30－45モル%の組成が、高圧電定数及び項電気機械結合係数を有する理由から好適に採用される。

## 請 求 の 範 囲

1. 誘電体によって構成された電界印加部と、  
この電界印加部の一方の面に形成された第1電極と、  
前記電界印加部の一方の面に形成され、前記第1電極とともにスリットを形成する第2電極とを有することを特徴とする電子放出素子。
2. 請求の範囲1記載の電子放出素子において、  
前記第1電極、第2電極及びスリットにカーボンコーティングを施したことを特徴とする電子放出素子。
3. 請求の範囲1又は2記載の電子放出素子において、  
前記第1及び第2電極に対して所定の間隔を以って配置した第3電極を更に有し、  
前記第1及び第2電極と前記第3電極との間の空間を真空としたことを特徴とする電子放出素子。
4. 圧電材料、電歪材料及び反強誘電材料のうちの少なくとも1種類によって構成された電界印加部と、  
この電界印加部の一方の面に形成された第1電極と、  
前記電界印加部の一方の面に形成され、前記第1電極とともにスリットを形成する第2電極とを有することを特徴とする電子放出素子。
5. 請求の範囲4記載の電子放出素子において、  
前記第1電極、第2電極及びスリットにカーボンコーティングを施したことを特徴とする電子放出素子。
6. 請求の範囲4又は5記載の電子放出素子において、  
前記第1及び第2電極に対して所定の間隔を以って配置した第3電極を更に有し、  
前記第1及び第2電極と前記第3電極との間の空間を真空としたことを特徴

とする電子放出素子。

7. 請求の範囲 6 記載の電子放出素子において、

前記電界印加部がアクチュエータとしても機能し、その変位動作によって、  
放出電子量を制御することを特徴とする電子放出素子。

8. 請求の範囲 3, 6, 7 の何れか一つの請求の範囲に記載の電子放出素子において、

前記第 3 電極に直流のオフセット電圧を印加する電圧源と、  
この電圧源と前記第 3 電極との間に直列配置した抵抗とを更に有することを  
特徴とする電子放出素子。

9. 請求の範囲 1 - 8 の何れか一つの請求の範囲に記載の電子放出素子において、

前記第 1 電極にパルス電圧が印加されるとともに、前記第 2 電極に直流のオフ  
セット電圧が印加されることを特徴とする電子放出素子。

10. 請求の範囲 1 - 9 の何れか一つの請求の範囲に記載の電子放出素子において、

前記第 1 電極と電圧信号源との間に直列配置したコンデンサを更に有するこ  
とを特徴とする電子放出素子。

11. 請求の範囲 1 - 8 の何れか一つの請求の範囲に記載の電子放出素子において、

前記電界印加部の他方の面に形成され、前記第 1 電極に対応する第 4 電極を  
更に有することを特徴とする電子放出素子。

12. 請求の範囲 11 記載の電子放出素子において、

前記第 4 電極にパルス電圧が印加されるとともに、前記第 2 電極に直流のオフ  
セット電圧が印加されることを特徴とする電子放出素子。

13. 請求の範囲 1 - 12 の何れか一つの請求の範囲に記載の電子放出素子において、

前記第 2 電極と直流オフセット電圧源との間に直列配置した抵抗を更に有す

ることを特徴とする電子放出素子。

14. 請求の範囲1-13の何れか一つの請求の範囲に記載の電子放出素子において、

前記電界印加部の比誘電率を1000以上としたことを特徴とする電子放出素子。

15. 請求の範囲1-14の何れか一つの請求の範囲に記載の電子放出素子において、

前記スリットの幅を500 $\mu$ m以下としたことを特徴とする電子放出素子。

16. 請求の範囲1-15の何れか一つの請求の範囲に記載の電子放出素子において、

前記第1電極と第2電極のうちの少なくとも一方が、鋭角を成す角部を有することを特徴とする電子放出素子。

17. 請求の範囲1-16の何れか一つの請求の範囲に記載の電子放出素子において、

前記第1電極及び第2電極がカーボンナノチューブを有することを特徴とする電子放出素子。

18. 2次元的に配列された複数の電子放出素子と、

これら電子放出素子に対してそれぞれ所定の間隔を以って配置した複数の蛍光体とを具え、

前記電流放出素子の各々が、

誘電体によって構成された電界印加部と、

この電界印加部の一方の面に形成された第1電極と、

前記電界印加部の一方の面に形成され、前記第1電極とともにスリットを形成する第2電極とを有することを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。

19. 請求の範囲18記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、

前記第1電極、第2電極及びスリットにカーボンコーティングを施したことを特徴とする電子放出素子。

20. 請求の範囲18又は19記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、

前記蛍光体の各々の前記第1及び第2電極に対向する面とは反対側の面に、第3電極をそれぞれ配置し、

前記第1及び第2電極と前記蛍光体との間の空間を真空としたことを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。

21. 2次元的に配列された複数の電子放出素子と、

これら電子放出素子に対してそれぞれ所定の間隔を以って配置した複数の蛍光体とを具え、

前記電流放出素子の各々が、

圧電材料、電歪材料及び反強誘電材料のうちの少なくとも1種類によって構成された電界印加部と、

この電界印加部の一方の面に形成された第1電極と、

前記電界印加部の一方の面に形成され、前記第1電極とともにスリットを形成する第2電極とを有することを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。

22. 請求の範囲21記載の電子放出素子において、

前記第1電極、第2電極及びスリットにカーボンコーティングを施したことを特徴とする電子放出素子。

23. 請求の範囲21又は22記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、

前記蛍光体の各々の前記第1及び第2電極に対向する面とは反対側の面に、第3電極をそれぞれ配置し、

前記第1及び第2電極と前記蛍光体との間の空間を真空としたことを特徴と

するフィールドエミッションディスプレイ。

24. 請求の範囲23記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記電界印加部がアクチュエータとしても機能し、その変位動作によって、  
放出電子量を制御することを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。
25. 請求の範囲20, 23, 24の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記電子放出素子の各々が、  
前記第3電極に直流のオフセット電圧を印加する電圧源と、  
この電圧源と前記第3電極との間に直列配置した抵抗とを更に有することを  
特徴とする電子放出素子。
26. 請求の範囲18-25の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記第1電極にパルス電圧が印加されるとともに、前記第2電極に直流のオフセット電圧が印加されることを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。
27. 請求の範囲18-26の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記電流放出素子の各々が、  
前記第1電極と電圧信号源との間に直列配置したコンデンサを更に有することを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。
28. 請求の範囲18-26の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記電流放出素子の各々が、  
前記電界印加部の他方の面に形成され、前記第1電極に対応する第4電極を  
更に有することを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。

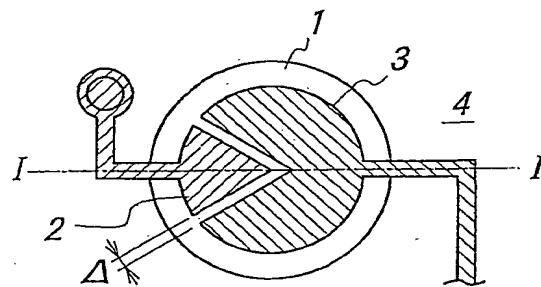


29. 請求の範囲28記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記第4電極にパルス電圧が印加されるとともに、前記第2電極に直流のオフセット電圧が印加されることを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。
30. 請求の範囲18-29の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記電流放出素子の各々が、  
前記第2電極と直流オフセット電圧源との間に直列配置した抵抗を更に有することを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。
31. 請求の範囲18-30の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記電界印加部の比誘電率を1000以上としたことを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。
32. 請求の範囲18-31の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記スリットの幅を500 $\mu$ m以下としたことを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。
33. 請求の範囲18-32の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記第1電極と第2電極のうちの少なくとも一方が、鋭角を成す角部を有することを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。
34. 請求の範囲18-33の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミッションディスプレイにおいて、  
前記第1電極及び第2電極がカーボンナノチューブを有することを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。
35. 請求の範囲18-34の何れか一つの請求の範囲に記載のフィールドエミ

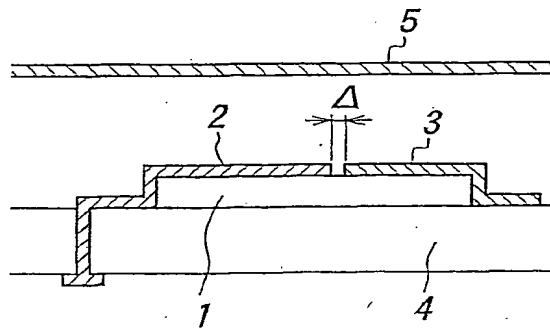
ッションディスプレイにおいて、

2次元的に配列された複数の電子放出素子を一体に形成した基板を更に具えることを特徴とするフィールドエミッションディスプレイ。

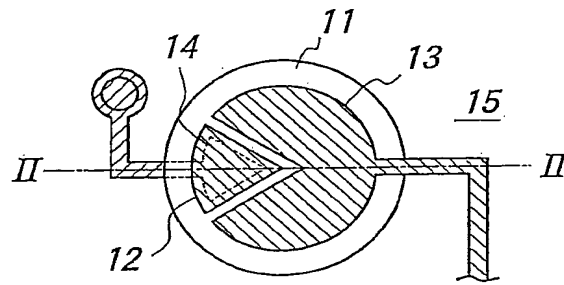
**FIG. 1A**



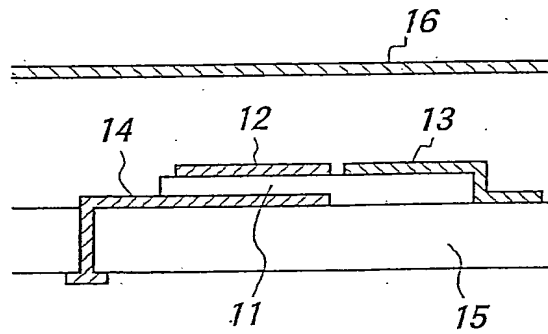
**FIG. 1B**



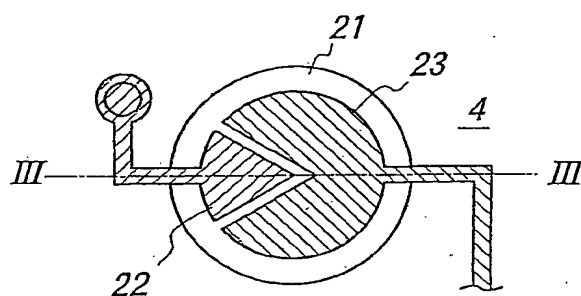
**FIG. 2A**



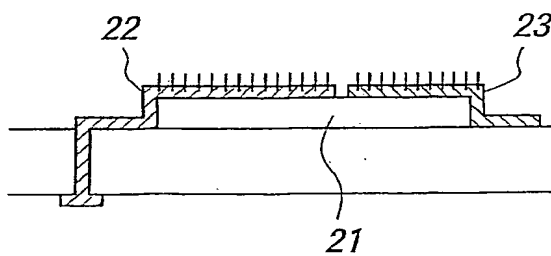
**FIG. 2B**



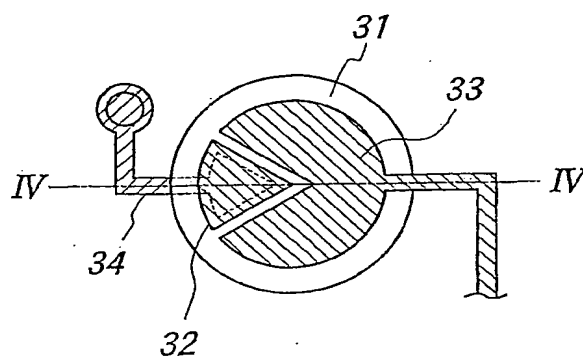
**FIG. 3A**



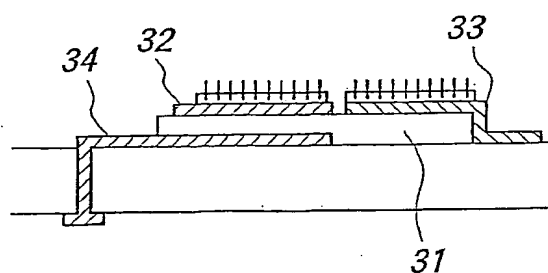
**FIG. 3B**



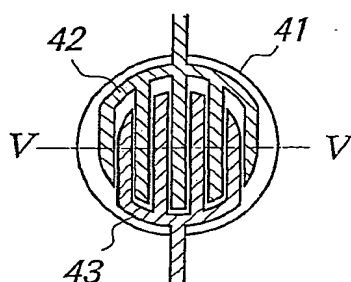
**FIG. 4A**



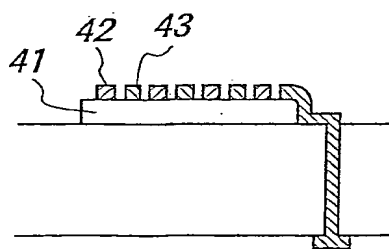
**FIG. 4B**



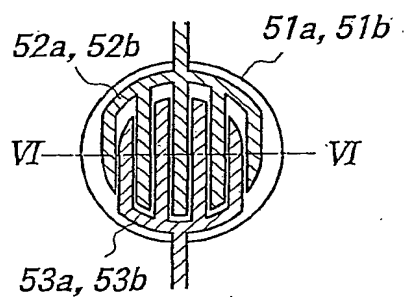
**FIG. 5A**



**FIG. 5B**



**FIG. 6A**



**FIG. 6B**

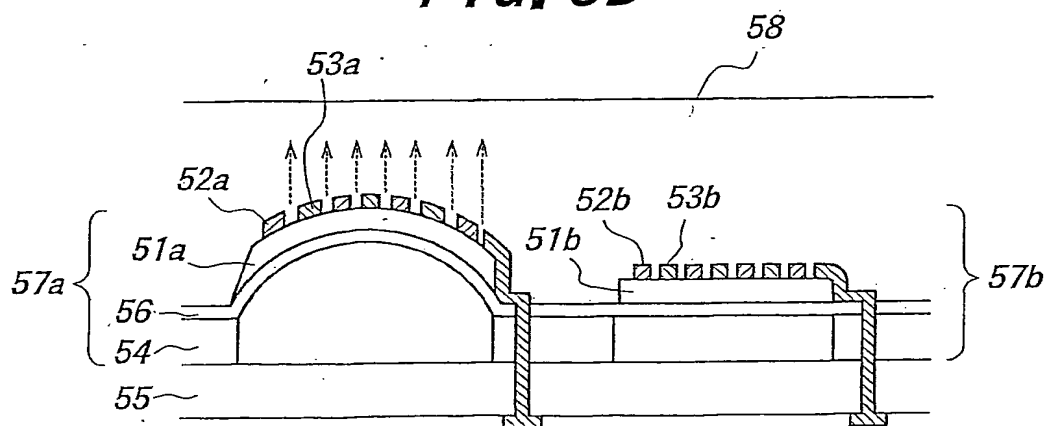




FIG. 7A

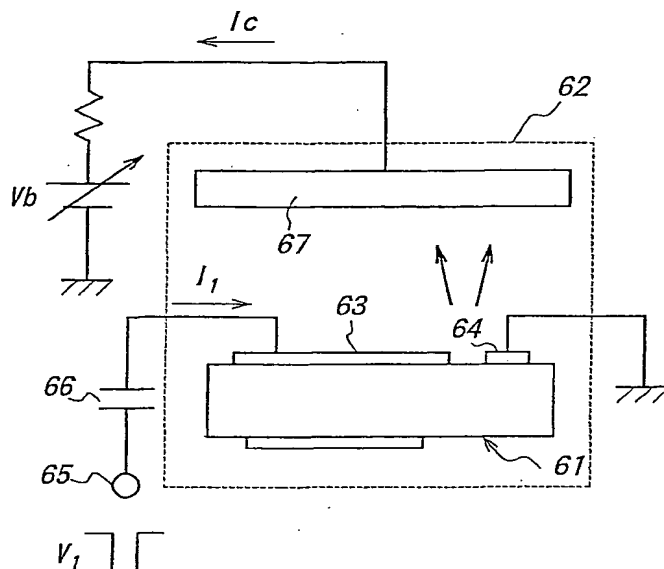
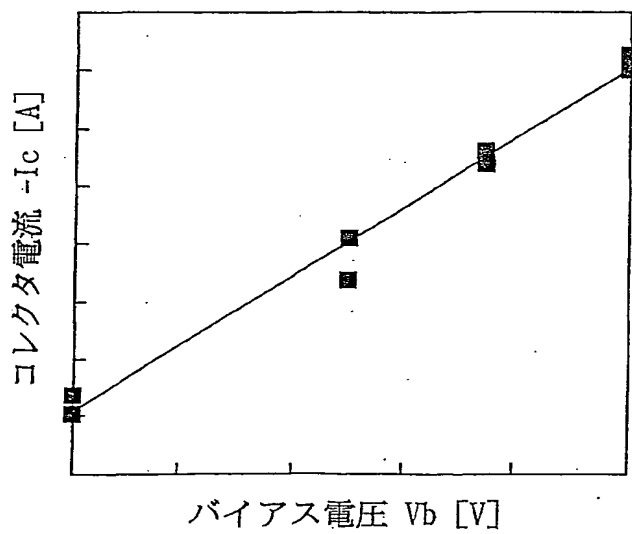
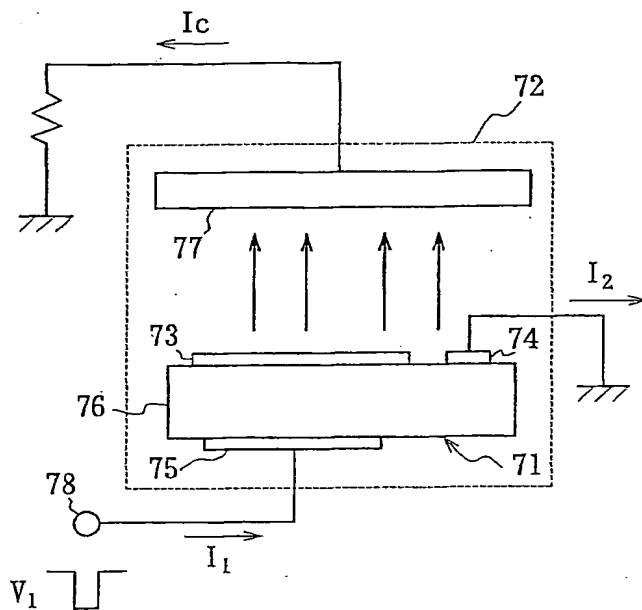


FIG. 7B



**FIG. 8A**



**FIG. 8B**

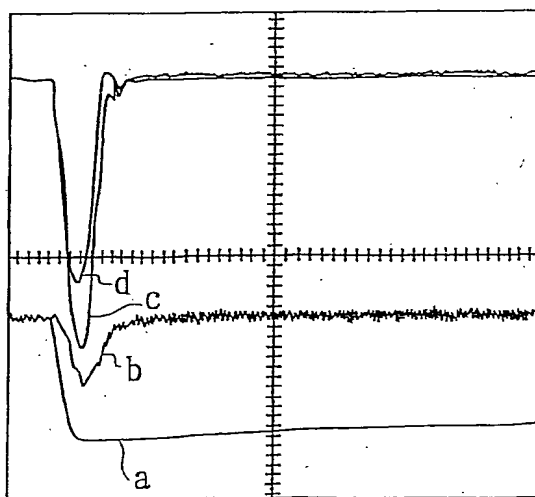


FIG. 9

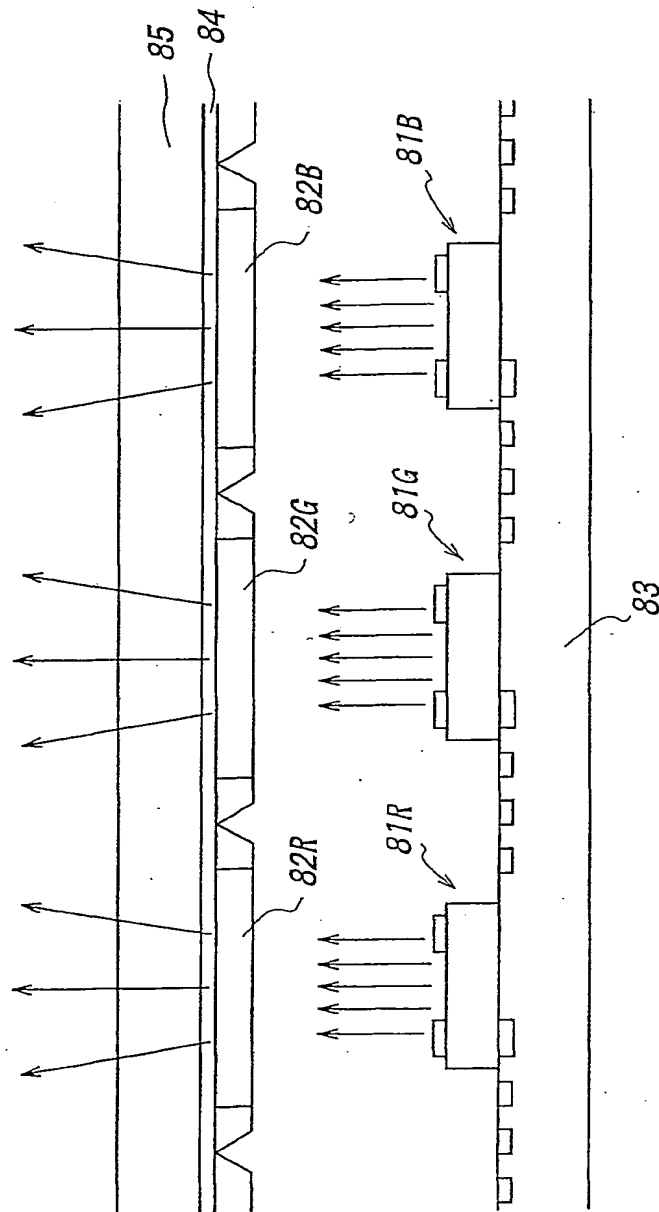
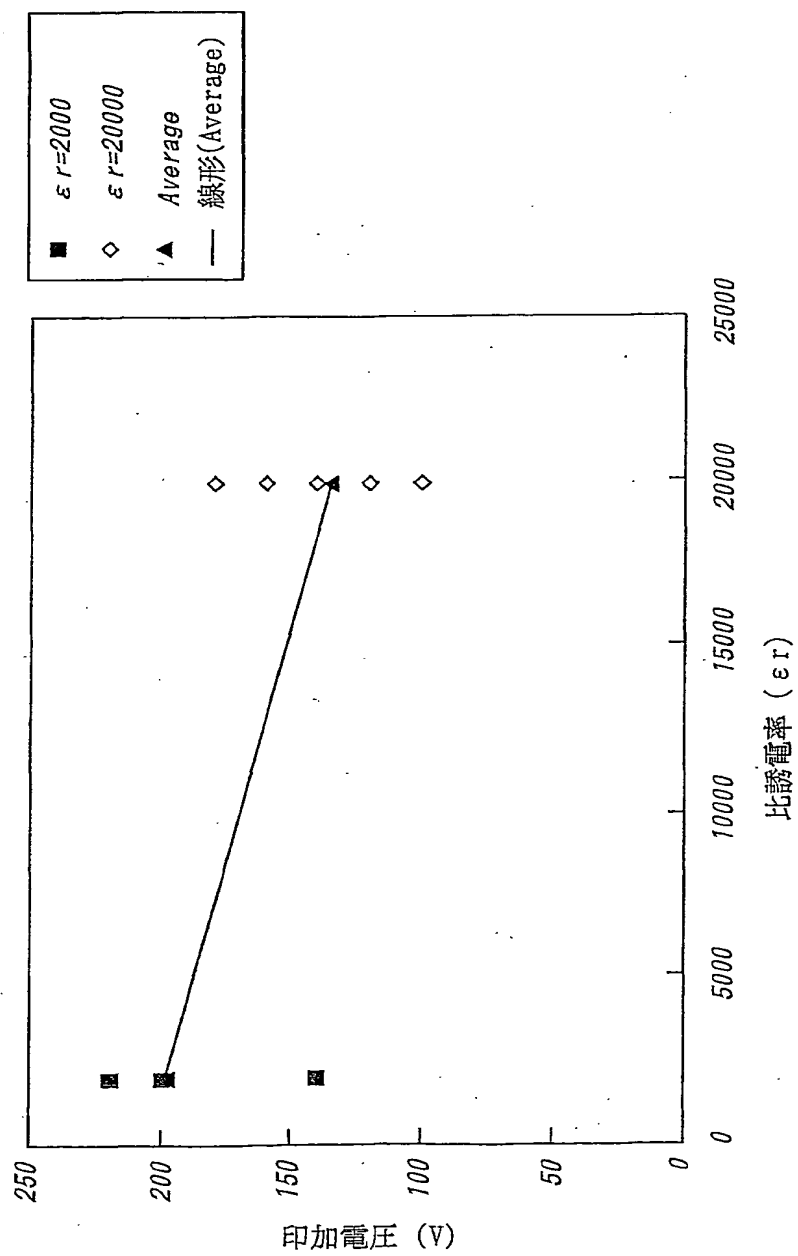


FIG. 10



**FIG. 11**

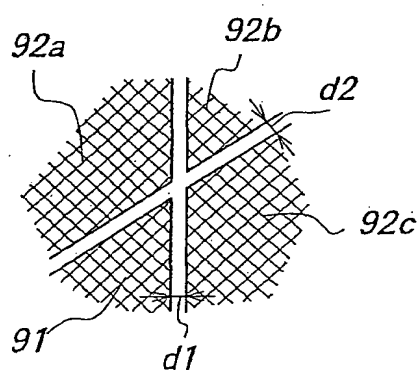
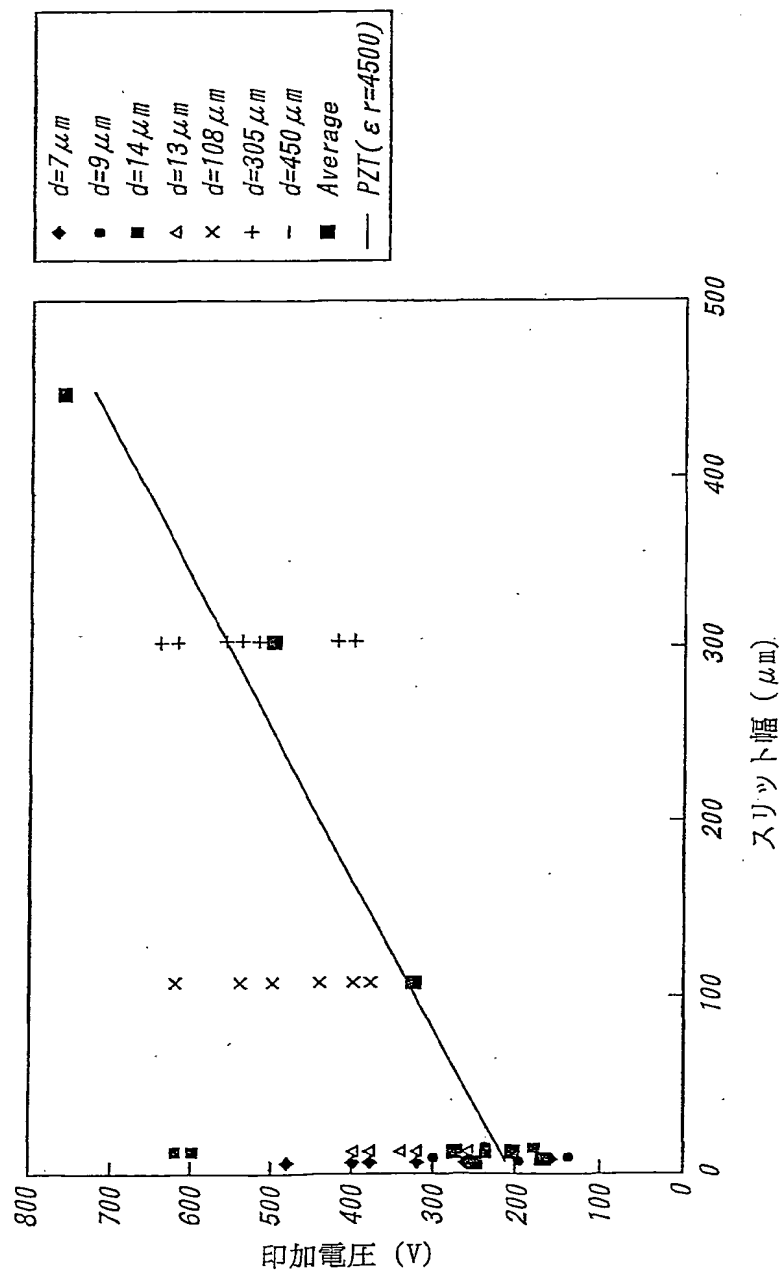
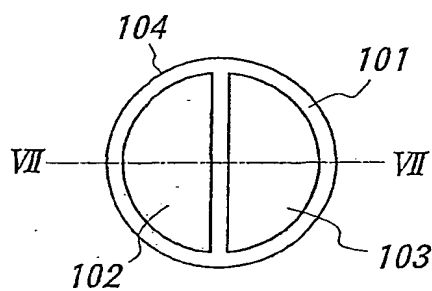
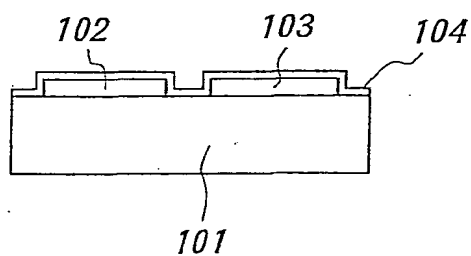
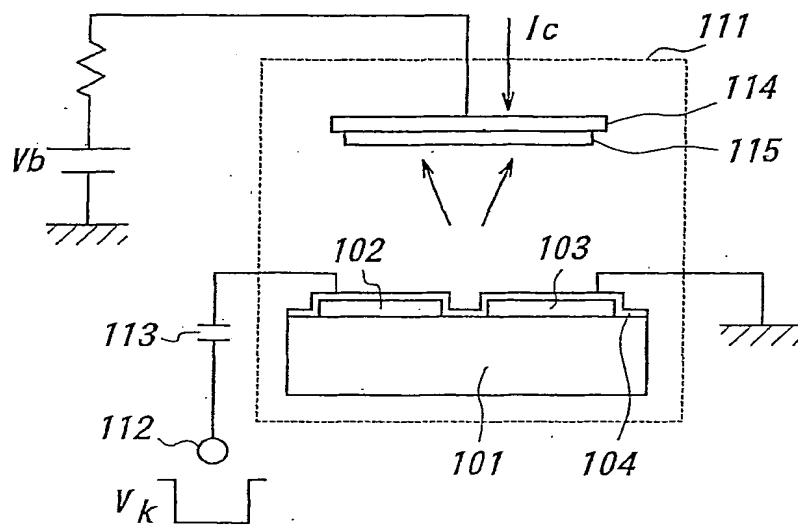
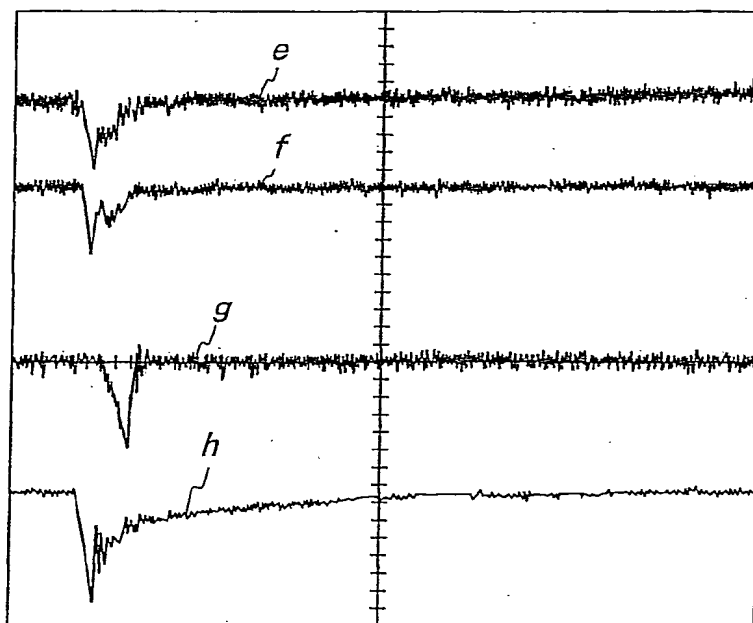


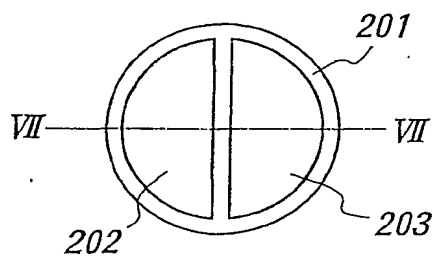
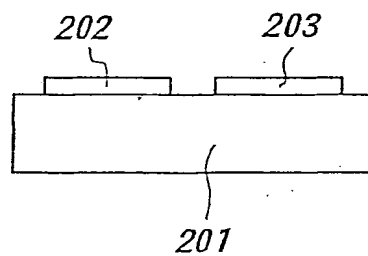
FIG. 12

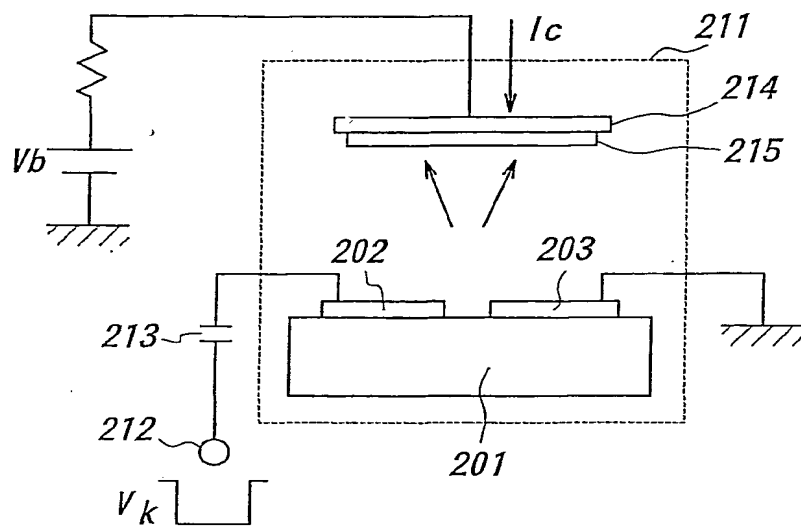
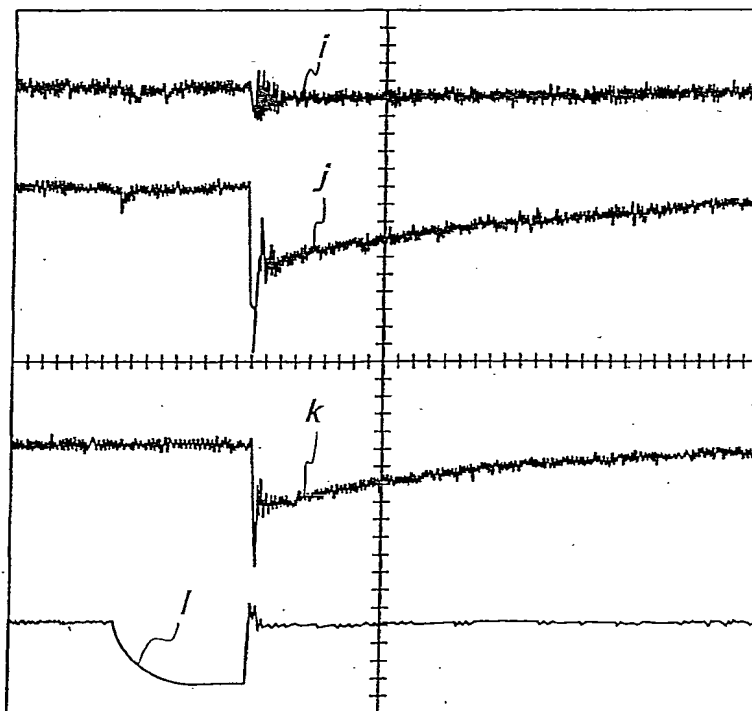


**FIG. 13A****FIG. 13B**

**FIG. 14A****FIG. 14B**



*FIG. 15A**FIG. 15B*

**FIG. 16A****FIG. 16B**

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/11195

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl<sup>7</sup> H01J1/304, H01J1/316, H01J29/04, H01J31/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl<sup>7</sup> H01J1/304, H01J1/316, H01J29/04, H01J31/12

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1940-1996	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2002
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2002	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2002

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP, 7-147131, A (TDK K.K.),	1, 15, 16
Y	06 June, 1995 (06.06.95), Full text; Figs. 8, 9 (Family: none)	3, 18, 32, 33
Y	JP, 2000-285801, A (Canon Inc.), 13 October, 2000 (13.10.00), Full text; all drawings (Family: none)	3, 18, 32, 33
X	JP, 1-311533, A (Canon Inc), 15 December, 1989 (15.12.89), Full text; all drawings (Family: none)	1, 15
X	JP, 46-20944, B (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 12 June, 1971 (12.06.71), Full text; all drawings (Family: none)	1, 16

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

<p>* Special categories of cited documents:</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"I" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p>	<p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art</p> <p>"&amp;" document member of the same patent family</p>
--	---

Date of the actual completion of the international search  
02 April, 2002 (02.04.02)

Date of mailing of the international search report  
16 April, 2002 (16.04.02)

Name and mailing address of the ISA/  
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP01/11195

## C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP, 44-26125, B (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 04 November, 1969 (04.11.69), Full text; all drawings (Family: none)	1-35

## A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. CI' H01J1/304, H01J1/316, H01J29/04, H01J31/12

## B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. CI' H01J1/304, H01J1/316, H01J29/04, H01J31/12

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1940-1996年  
 日本国公開実用新案公報 1971-2002年  
 日本国登録実用新案公報 1994-2002年  
 日本国実用新案登録公報 1996-2002年

国際調査で利用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

## C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	J P 7-147131 A (ディーディーケイ株式会社) 1995. 06. 06 全文, 図8, 図9 (ファミリーなし)	1, 15, 16 3, 18, 32, 33
Y	J P 2000-285801 A (キャノン株式会社) 2000. 10. 13 全文, 全図 (ファミリーなし)	3, 18, 32, 33
X	J P 1-311533 A (キャノン株式会社) 1989. 12. 15 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 15

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

## \* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの  
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日後に公表されたもの  
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)  
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献  
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献  
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの  
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの  
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの  
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

02. 04. 02

国際調査報告の発送日

16.04.02

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)  
 郵便番号100-8915  
 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

村田 尚英

2 G

8 1 1 7

電話番号 03-3581-1101 内線 6488

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	J P 46-20944 B (松下電器産業株式会社) 1971. 06. 12 全文, 全図 (ファミリーなし)	1, 16
A	J P 44-26125 B (松下電器産業株式会社) 1969. 11. 04 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-35

**ELECTRON EMISSION ELEMENT AND FIELD EMISSION DISPLAY USING IT**Claims of correspondent: **EP1265263**

## 1. An electron-emitting element comprising:

an electric field applying portion composed of a dielectric;  
a first electrode formed on one surface of this electric field applying portion; and  
a second electrode formed on said one surface of the electric field applying portion, and forming a slit in cooperation with said first electrode.

2. An electron-emitting element according to claim 1, wherein a carbon coating is applied to said first electrode, said second electrode and said slit.

3. An electron-emitting element according to claim 1 or 2, further comprising a third electrode arranged at a certain space to said first and second electrodes, wherein space between said first and second electrodes and said third electrode is vacuum.

## 4. An electron-emitting element comprising:

an electric field applying portion composed of at least one of a piezoelectric material, an electrostrictive material and an antiferroelectric material;  
a first electrode formed on one surface of this electric field applying portion; and  
a second electrode formed on said one surface of the electric field applying portion, and forming a slit in cooperation with said first electrode.

5. An electron-emitting element according to claim 4, wherein a carbon coating is applied to said first electrode, said second electrode and said slit.

6. An electron-emitting element according to claim 4 or 5, further comprising a third electrode arranged at a certain space to said first and second electrodes, wherein space between said first and second electrodes and said third electrode is vacuum.

7. An electron-emitting element according to claim 6, wherein said electric field applying portion also acts an actuator and controls the quantity of emitted electrons by the displacement motion of said electric field applying portion.

## 8. An electron-emitting element according to one of claims 3, 6 and 7, further comprising:

a voltage source for applying a direct offset voltage to said third electrode; and  
a resistor arranged in series between this voltage source and said third electrode.

9. An electron-emitting element according to one of claims 1 to 8, wherein a pulse voltage is applied to said first electrode and a direct offset voltage is applied to said second electrode.

10. An electron-emitting element according to one of claims 1 to 9, further comprising a capacitor arranged in series between said first electrode and said voltage source.

11. An electron-emitting element according to one of claims 1 to 8, further comprising a fourth electrode formed on the other surface of said electric field applying portion and facing to said first electrode.

12. An electron-emitting element according to claim 11, wherein a pulse voltage is applied to said fourth electrode and a direct offset voltage is applied to said second electrode.

13. An electron-emitting element according to one of claims 1 to 12, further comprising a resistor arranged in series between said second electrode and a direct offset voltage source.

14. An electron-emitting element according to one of claims 1 to 13, wherein said electric field applying portion has the relative dielectric constant not less than 1000.

15. An electron-emitting element according to one of claims 1 to 14, wherein said slit has the width not more than 500  $\mu\text{m}$ .

16. An electron-emitting element according to one of claims 1 to 15, wherein at least one of said first

electrode and said second electrode has an angular part with an acute angle.

17. An electron-emitting element according to one of claims 1 to 16, wherein said first electrode and said second electrode each have carbon nanotubes.

18. A field emission display comprising:

a plurality of electron-emitting elements arranged in two dimensions; and  
a plurality of phosphors each being arranged with a certain space to each of these electron-emitting elements,  
each of said electron-emitting elements having:

an electric field applying portion made of a dielectric;  
a first electrode formed on one surface of this electric field applying portion; and  
a second electrode formed on said one surface of the electric field applying portion, and forming a slit in cooperation with said first electrode.

19. A field emission display according to claim 18, wherein a carbon coating is applied to said first electrode, said second electrode and said slit.

20. A field emission display according to claim 18 or 19, wherein a third electrode is arranged on the opposite surface to a surface of each of said phosphors facing said first and second electrodes, and the space between said first and second electrodes and said phosphor is vacuum.

21. A field emission display comprising:

a plurality of electron-emitting elements arranged in two dimensions; and  
a plurality of phosphors each being arranged with a certain space to each of these electron-emitting elements,  
each of said electron-emitting elements having:

an electric field applying portion composed of at least one of a piezoelectric material, an electrostrictive material and an antiferroelectric material;  
a first electrode formed on one surface of this electric field applying portion; and  
a second electrode formed on said one surface of the electric field applying portion, and forming a slit in cooperation with said first electrode.

22. A field emission display according to claim 21, wherein a carbon coating is applied to said first electrode, said second electrode and said slit.

23. A field emission display according to claim 21 or 22, wherein a third electrode is arranged on the opposite surface to a surface of each of said phosphors facing said first and second electrodes, and the space between said first and second electrodes and said phosphor is vacuum.

24. A field emission display according to claim 23, wherein said electric field applying portion also acts as an actuator and controls the quantity of emitted electrons by the displacement motion of said electric field applying portion.

25. A field emission display according to one of claims 20, 23 and 24, wherein each of said electron-emitting elements comprises:

a voltage source for applying a direct offset voltage to said third electrode; and  
a resistor arranged in series between this voltage source and said third electrode.

26. A field emission display according to one of claims 18 to 25, wherein a pulse voltage is applied to said first electrode and a direct offset voltage is applied to said second electrode.

27. A field emission display according to one of claims 18 to 26, wherein each of said electron-emitting elements further comprises a capacitor arranged in series between said first electrode and said voltage signal source.

28. A field emission display according to one of claims 18 to 26, wherein each of said electron-emitting elements further comprises a fourth electrode being formed on the other surface of said electric field applying portion and opposite to said first electrode.



29. A field emission display according to claim 28, wherein a pulse voltage is applied to said fourth electrode and a direct offset voltage is applied to said second electrode.
30. A field emission display according to one of claims 18 to 29, wherein each of said electron-emitting elements further comprises a resistor arranged in series between said second electrode and said direct offset voltage source.
31. A field emission display according to one of claims 18 to 30, wherein said electric field applying portion has the relative dielectric constant not less than 1000.
32. A field emission display according to one of claims 18 to 31, wherein said slit has the width not more than 500  $\mu\text{m}$ .
33. A field emission display according to one of claims 18 to 32, wherein at least one of said first electrode and said second electrode has an angular part with an acute angle.
34. A field emission display according to one of claims 18 to 33, wherein said first electrode and said second electrode each have carbon nanotubes.
35. A field emission display according to one of claims 18 to 34, further comprising a substrate having a plurality of electron-emitting elements arranged in two dimensions and formed into one body with each other.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

## ELECTRON EMISSION ELEMENT AND FIELD EMISSION DISPLAY USING IT

Description of correspondent: **EP1265263**

### TECHNICAL FIELD

[0001] The present invention relates to an electron-emitting element and a field emission display using the same.

### BACKGROUND ART

[0002] Such an electron-emitting element has a driving electrode and an earth electrode, and is applied to various applications such as an field emission display (FED) and back light. In case of applying to an FED, a plurality of electron-emitting elements are two dimensionally arranged in two dimensions and a plurality of phosphors being opposite to these electron-emitting elements are arranged at a certain space to each other.

[0003] However, since a conventional electron-emitting element is not good in straight advancing ability, namely, in the degree of the straight advancement of electron emitted from the electron-emitting element to specified objects (phosphors for example), and in order to hold a desired current density by emitted electrons, it is necessary to apply a comparatively high voltage to the electron-emitting element.

[0004] And in case of applying the conventional electron-emitting element to the FED, since straight advancing ability of the conventional electron-emitting element is not good, the crosstalk is relatively large, namely, there is a high probability that an emitted electron strikes on a phosphor adjacent to a targeted phosphor. As a result, it is difficult to make the pitch between the phosphors narrow and it is necessary to provide a grid in order to prevent an electron from hitting on an adjacent phosphor.

[0005] It is an object of the present invention is to provide an electron-emitting element having a good straight advancing ability of emitted electrons and a field emission display using the same.

[0006] It is another object of the present invention is to provide an electron-emitting element realizing an electron emission with a high current density at a comparatively low vacuum and a remarkable low driving voltage and a field emission display using the same.

### DISCLOSURE OF THE INVENTION

[0007] There is provided an electron-emitting element comprising;

an electric field applying portion composed of dielectric,  
a first electrode formed on one surface of this electric field applying portion,  
a second electrode formed on said one surface of the electric field applying portion and forming a slit in cooperation with the first electrode.

[0008] According to the present invention, electrons are emitted from the electric field applying portion by applying a pulse voltage to the first or second electrode. By composing the electric field applying portion by the dielectric, it is possible to obtain a good straight advancing ability that cannot be achieved by the conventional electron-emitting element. As a result, a voltage to be applied to the electron-emitting element needed to hold a desired current density is remarkably lower than that of the conventional electron-emitting element, and the energy consumption is greatly reduced. Since the first and second electrodes can be formed on the electric field applying portion by means of a thick film printing method, the electron-emitting element according to the present invention is preferable from the viewpoint of durability and cost reduction.

[0009] In order to reduce the voltage to be applied to the electron-emitting element furthermore, it is preferable to apply a carbon coating to the first and second electrodes and the slit. In this case, by the application of the carbon coating, there is remarkable reduction of the probability to damage the first and second electrodes caused by collision between electrons and ions or by generation of heat.

[0010] In order to perform a good electron emission, it is preferable to further comprise a third electrode arranged at a certain space to the first and second electrodes, and to make the space between the first

and second electrodes and the third electrode vacuum.

[0011] There is provided another electron-emitting element comprising:

an electric field applying portion composed of at least one of a piezoelectric material, an electrostrictive material and an antiferroelectric material;  
a first electrode formed on one surface of this electric field applying portion; and  
a second electrode formed on the one surface of the electric field applying portion, and forming a slit in cooperation with the first electrode.

[0012] According to the present invention, not only a good straight advancing ability can be obtained, but also the electric field applying portion also acts as an actuator and is bent and displaced when a pulse voltage is applied to the first or second electrode. As a result, the straight advancing ability of the electron-emitting element is more improved.

[0013] In order to reduce the voltage to be applied to the electron-emitting element further more, it is preferable to apply the carbon coating to the first and second electrodes and the slit. In this case, by the application of the carbon coating, there is remarkable reduction of the probability to damage the first and second electrodes caused by collision between electrons and ions or by generation of heat.

[0014] In this case, also, in order to perform a good electron emission, it is preferable to further comprise a third electrode being arranged at a certain space to the first and second electrodes and to make the space between the first and second electrodes and the third electrode vacuum. At this time, the electric field applying portion also acts as the actuator, and makes it possible to control the amount of emitted electrons by the displacement motion of the electric field applying portion.

[0015] Preferably, the electron-emitting element further has a voltage source for applying a direct offset voltage to the third electrode, and a resistor arranged in series between the voltage source and the third electrode. Thereby, a desired current density can be easily achieved, and short-circuit between the third electrode and the first and second electrodes is prevented.

[0016] For example, a pulse voltage is applied to the first electrode, and a direct offset voltage is applied to the second electrode.

[0017] Preferably, the electron-emitting element further has a capacitor arranged in series between the first electrode and a voltage signal source. Thereby, a voltage can be applied between the first electrode and the second electrode only until the capacitor is charged up, and as a result, the breakage caused by the short-circuit between the first and second electrodes is prevented.

[0018] In case of further having a fourth electrode being formed on the other surface of the electric field applying portion and opposite to the first electrode, since the electric field applying portion between the first electrode and the third electrode acts as a capacitor, the breakage caused by the short-circuit between the first and second electrodes is prevented. In this case, for example, a pulse voltage is applied to the fourth electrode and a direct offset voltage is applied to the second electrode.

[0019] It may further have a resistor arranged in series between the second electrode and the direct offset voltage source. In this case, a current to be flowed by discharging from the first electrode to the second electrode is suppressed by the resistor, and breakage to be caused by short-circuit between the first and second electrodes is prevented.

[0020] In order to achieve a sharp reduction of the voltage to be applied, it is preferable to have the relative dielectric constant of the electric field applying portion not less than 1000 and/or the width of said slit not more than 500  $\mu\text{m}$ .

[0021] In order to perform a good electron emission, it is preferable for at least one of the first and second electrodes to have an angular part with an acute angle and/or for the first electrode and the second electrode to have carbon nanotubes.

[0022] There is provided a field emission display comprising:

a plurality of electron-emitting elements arranged in two dimensions; and  
a plurality of phosphors being arranged at a certain space to each of these electron-emitting elements, each of said electron-emitting elements having:  
an electric field applying portion composed of a dielectric;  
a first electrode formed on one surface of this electric field applying portion; and  
a second electrode formed on the surface of the electric field applying portion, and forming a slit in cooperation with the first electrode.

[0023] Since a field emission display according to the present invention is excellent in the straight advancing ability of the electron-emitting element, it is smaller in crosstalk in comparison with a display comprising conventional electron-emitting elements, the pitch between phosphors can be made more narrow, and it is not necessary to provide a grid in order to prevent electrons from striking on phosphors adjacent to the targeted phosphors. As a result, a field emission display according to the present invention is preferable from the viewpoint of improvement in resolution, downsizing and cost reduction of a display device. Since the emission of electrons can be performed even in case that the degree of vacuum inside a field emission display is comparatively low, it is possible to emit electrons even when the degree of vacuum inside the display is lowered by a cause such as a phosphor excitation and the like. Since a conventional field emission display needs to hold a comparatively large vacuum space as a margin for maintaining the emission of electrons, it has been difficult to make the display thin-sized. On the other hand, since the present invention does not need to hold a large vacuum space in advance in order to keep the emission of electrons against drop of the degree of vacuum, it is possible to make the display thin-sized.

[0024] In order to reduce a voltage to be applied to an electron-emitting element further more, it is preferable to apply a carbon coating to the first and second electrodes and the slit. In this case, by the application of the carbon coating, there is remarkable reduction of the probability to damage the first and second electrodes caused by collision between electrons and ions or by generation of heat.

[0025] In order to perform a good electron emission, it is preferable to further have a third electrode arranged at a certain space to the first and second electrodes and make the space between the first and second electrodes and the third electrode vacuum.

[0026] There is provided another field emission display comprising:

a plurality of electron-emitting elements arranged in two dimensions; and  
a plurality of phosphors arranged at a certain space to each of these electron-emitting elements, each of the electron-emitting elements having:  
an electric field applying portion composed of at least one of a dielectric material, an electrostrictive material and an antiferroelectric material;  
a first electrode formed on one surface of this electric field applying portion; and  
a second electrode formed on the surface of the electric field applying portion, and forming a slit in cooperation with the first electrode.

[0027] Since a field emission display according to the present invention is excellent in the straight advancing ability of the electron-emitting element, it is more preferable from the viewpoint of downsizing and cost reduction of a display device.

[0028] In order to reduce the voltage to be applied to the electron-emitting element furthermore, it is preferable to apply the carbon coating to the first and second electrodes and the slit. In this case, by the application of the carbon coating, there is remarkable reduction of the probability to damage the first and second electrodes caused by collision between electrons and ions or by generation of heat.

[0029] In this case, also, in order to perform a good electron emission, it is preferable to further have a third electrode arranged at a certain space to the first and second electrodes and make the space between the first and second electrodes and the third electrode vacuum. At this time, the electric field applying portion also acts as an actuator and can control the amount of emitted electrons by the displacement motion of the electric field applying portion.

[0030] Preferably, the electron-emitting element further has a voltage source for applying a direct offset voltage to the third electrode and a resistor arranged in series between this voltage source and the third electrode. Thereby, a desired current density, namely, a desired amount of luminescence of phosphors can be easily achieved, and the short-circuit between the third electrode and the first and second electrodes is prevented.

[0031] For example, a pulse voltage is applied to the first electrode and a direct offset voltage is applied to the second electrode.

[0032] Preferably, the electron-emitting element further has a capacitor arranged in series between the first electrode and the voltage signal source. Thereby, the breakage to be caused by the short-circuit between the first and second electrodes is prevented.

[0033] Also, when the electron-emitting element further has a fourth electrode formed on the other surface of the electric field applying portion and facing the first electrode, the breakage to be caused by the short-circuit between the first and second electrodes. In this case, for example, a pulse voltage is applied to the fourth electrode and a direct offset voltage is applied to the second electrode.

[0034] In case that the electron-emitting element further has a resistor arranged in series between the second electrode and the direct offset voltage source, the breakage to be caused by the short-circuit between the first and second electrodes is prevented.

[0035] In order to achieve a sharp reduction of the voltage to be applied, it is preferable to have the relative dielectric constant of the electric field applying portion not less than 1000 and/or the width of the slit not more than 500  $\mu\text{m}$ .

[0036] In order to perform a good electron emission, it is preferable for at least one of the first and second electrodes to have an angular part with an acute angle and/or for the first and second electrodes to have carbon nanotubes.

[0037] A field emission display according to the present invention further comprises a substrate having a plurality of electron-emitting elements arranged in two-dimensions and formed into one body with it.

#### BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

[0038] Figure 1 is a diagram showing a first embodiment of the electron-emitting element according to the present invention.

[0039] Figure 2 is a diagram showing a second embodiment of the electron-emitting element according to the present invention.

[0040] Figure 3 is a diagram showing a third embodiment of the electron-emitting element according to the present invention.

[0041] Figure 4 is a diagram showing a fourth embodiment of the electron-emitting element according to the present invention.

[0042] Figure 5 is a diagram showing a fifth embodiment of the electron-emitting element according to the present invention.

[0043] Figure 6 is a diagram showing a sixth embodiment of the electron-emitting element according to the present invention.

[0044] Figure 7 is a diagram for explaining the operation of the electron-emitting element according to the present invention.

[0045] Figure 8 is a diagram for explaining the operation of the other electron-emitting element according to the present invention.

[0046] Figure 9 is a diagram showing an embodiment of the FED according to the present invention.

[0047] Figure 10 is a diagram showing the relation between the relative dielectric constant of the electron-emitting element according to the present invention and the applied voltage to the electron-emitting element.

[0048] Figure 11 is a diagram for explaining Figure 10.

[0049] Figure 12 is a diagram showing the relation between the slit width of the electron-emitting element according to the present invention and an applied voltage to the electron-emitting element.

[0050] Figure 13 is a diagram showing a seventh embodiment of the electron-emitting element according to the present invention.

[0051] Figure 14 is a diagram for explaining the operation of the electron-emitting element of Figure 13.

[0052] Figure 15 is a diagram showing an eighth embodiment of the electron-emitting element according to the present invention.

[0053] Figure 16 is a diagram for explaining the operation of the electron-emitting element of Figure 15.

#### BEST MODE FOR CARRYING OUT THE INVENTION

[0054] Embodiments of the electron-emitting element and the field emission display using the same will be explained with reference to the drawings.

[0055] Figure 1A is a top view of a first embodiment of the electron-emitting element according to the present invention, and Figure 1B is a sectional view taken along line I-I. This electron-emitting element has an electric field applying portion 1 composed of a dielectric, a driving electrode 2 as a first electrode formed on one surface of the electric field applying portion 1 and a common electrode 3 as a second electrode formed on the surface on which the driving electrode 2 is formed and forming a slit in cooperation with the driving electrode 2, and the electron-emitting element is formed on a substrate 4. Preferably, in order to capture emitted electrons well, this electron-emitting element further has an electron capturing electrode 5 as a third electrode arranged at a certain space to the one surface of the electric field applying portion 1, and keeps the space therebetween in a vacuum state. And in order to prevent breakage caused by short-circuit between the driving electrode 2 and the common electrode 3, a capacitor not illustrated is arranged in series between the driving electrode 2 and an not shown voltage signal source and/or an not shown resistor is arranged in series between the common electrode 3 and an not shown direct offset voltage source.

[0056] A dielectric being comparatively high, for example, not less than 1000 in relative dielectric constant is preferably adopted as a dielectric forming the electric field applying portion 1. As such a dielectric, there can be mentioned ceramic containing barium titanate, lead zirconate, magnesium lead niobate, nickel lead niobate, zinc lead niobate, manganese lead niobate, magnesium lead tantalate, nickel lead tantalate, antimony lead stannate, lead titanate, barium titanate, magnesium lead tungstate, cobalt lead niobate or the like, or an optional combination of these, and ceramic containing these compounds of 50 wt% or more as its main ingredients, and furthermore ceramic having an oxide of lanthanum, calcium, strontium, molybdenum, tungsten, barium, niobium, zinc, manganese, nickel or the like, or some combination of these or other compounds and the like properly added to said ceramic. For example, in case of a two-component system nPMN-mPT (n and m are represented in molar ratio) of magnesium lead niobate (PMN) and lead titanate (PT), when the molar ratio of PMN is made large, its Curie point is lowered and its relative dielectric constant at a room temperature can be made large. Particularly, the condition of " $n = 0.85$  to  $1.0$ ,  $m = 1.0 - n$ " makes preferably a relative dielectric constant of 3000 or more. For example, the condition of " $n = 0.91$ ,  $m = 0.09$ " gives a relative dielectric constant of 15,000 at a room temperature and the condition of " $n = 0.95$ ,  $m = 0.05$ " gives a relative dielectric constant of 20,000 at a room temperature. Next, in a three-component system of magnesium lead niobate (PMN), lead titanate (PT) and lead zirconate (PZ), it is preferable for the purpose of making the relative dielectric constant to make the composition of the three-component system close to the composition of the vicinity of the morphotropic phase boundary (MPB) between a tetragonal system and a pseudo-tetragonal system or between a tetragonal system and a rhombohedral system as a manner other than making the molar ratio of PMN be large. Particularly preferably, for example, the condition of " $PMN : PT : PZ = 0.375 : 0.375 : 0.25$ " provides the relative dielectric constant of 5,500 and the condition of " $PMN : PT : PZ = 0.5 : 0.375 : 0.125$ " provides the relative dielectric constant of 4,500. Further, it is preferable to improve the dielectric constant by mixing these dielectrics with such metal as platinum within a range where the insulation ability is secured. In this case, for example, the dielectric is mixed with platinum of 20% in weight.

[0057] In this embodiment, the driving electrode 2 has an angular part with an acute angle. A pulse voltage is applied to the driving electrode 2 from an not shown power source, and electrons are emitted mainly from the angular part. In order to perform a good electron emission, the width DELTA of the slit between the driving electrode 2 and the common electrode 3 is preferably not more than 500  $\mu\text{m}$ . The driving electrode 2 is composed of a conductor with resistance to a high-temperature oxidizing atmosphere, for example, a single metal, an alloy, a mixture of an insulating ceramic and a single metal, a mixture of an insulating ceramic and an alloy or the like, and is preferably composed of a high-melting point precious metal such as platinum, palladium, rhodium, molybdenum or the like, or a material having such an alloy as silver-palladium, silver-platinum, platinum-palladium or the like as its main ingredient, or a cermet material of platinum and ceramic. More preferably, it is composed of only platinum or a material having a platinum-based alloy as its main ingredient. And as a material for electrodes, carbon-based or graphite-based materials, for example, a diamond thin film, a diamond-like carbon and a carbon nanotube are also preferably used. A ceramic material added to the electrode material is preferably 5 to 30 vol%.

[0058] The driving electrode 2 can be composed using the above-mentioned materials by an ordinary film forming method by means of various thick film forming methods such as screen printing, spraying, coating, dipping, application, electrophoresing and the like, or various thin film forming methods such as sputtering, ion beaming, vacuum deposition, ion plating, CVD, plating and the like, and is preferably made by these thick film forming methods.

[0059] In case of forming the driving electrode 2 by means of a thick film forming method, a thickness of driving electrode 2 is generally not more than 20  $\mu\text{m}$ , and preferably not more than 5  $\mu\text{m}$ .

[0060] A direct offset voltage is applied to the common electrode 3, and is led by the wiring passing through an not shown through hole from the reverse side of the substrate 4.

[0061] The common electrode 3 is formed by means of a material and method similar to those for the driving electrode 2, and preferably by means of the above-mentioned thick film forming methods. The width of the common electrode 3 also is generally not more than 20  $\mu\text{m}$  and preferably not more than 5  $\mu\text{m}$ .

[0062] Preferably, the substrate 4 is composed of an electrically insulating material in order to electrically separate a wire electrically connected to the driving electrode 2 and a wire electrically connected to the common electrode 3 from each other.

[0063] Therefore, the substrate 4 can be composed of a material like an enameled material obtained by coating the surface of a high heat-resistant metal with a ceramic material such as glass and the like, and is optimally composed of ceramic.

[0064] As a ceramic material to form the substrate 4, for example, stabilized zirconium oxide, aluminum oxide, magnesium oxide, titanium oxide, spinel, mullite, aluminum nitride, silicon nitride, glass, a mixture of these and the like can be used. Among them, particularly aluminum oxide and stabilized zirconium oxide are preferable from the viewpoint of strength and rigidity. Stabilized zirconium oxide is particularly preferable in that it is comparatively high in mechanical strength, comparatively high in toughness and comparatively small in chemical reaction to the driving electrode 2 and the common electrode 3. The stabilized zirconium oxide includes stabilized zirconium oxide and partially stabilized zirconium oxide. Since the stabilized zirconium oxide takes a crystal structure such as a cubic system, it undergoes no phase transition.

[0065] On the other hand, it is probable that the zirconium oxide undergoes a phase transition between a monoclinic system and a tetragonal system and has a crack generated at the time of such a phase transition. The stabilized zirconium oxide contains a stabilizer such as calcium oxide, magnesium oxide, yttrium oxide, scandium oxide, ytterbium oxide, cerium oxide, rare metal oxide and the like of 1 to 30 mol%. It is preferable for a stabilizer to contain yttrium oxide in order to improve the substrate 4 in mechanical strength. In this case, it contains yttrium of preferably 1.5 to 6 mol%, more preferably 2 to 4 mol%, and preferably further contains aluminum oxide of 1 to 5 mol%.

[0066] And its crystal phase can be made into a mixed phase of "cubic system + monoclinic system", a mixed phase of "tetragonal system + monoclinic system", a mixed phase of "cubic system + tetragonal system + monoclinic system" or the like, and among them particularly the crystal phase having a tetragonal system or a mixed phase of "tetragonal system + cubic system" as its main crystal phase is optimal from the viewpoint of strength, toughness and durability.

[0067] In case of composing the substrate 4 of ceramic, comparatively many crystal particles form the substrate 4, and in order to improve the substrate 4 in mechanical strength, the average particle diameter of the crystal particles is preferably 0.05 to 2  $\mu\text{m}$ , and more preferably 0.1 to 1  $\mu\text{m}$ .

[0068] The electric field applying portion 1, the driving electrode 2 and the common electrode 3 can be formed into one body together with the substrate 4 by applying heat treatment to the substrate 4, namely, by baking the substrate 4 each time forming one of them respectively, or these electric field applying portion 1, the driving electrode 2 and the common electrode 3 are formed on the substrate 4 and thereafter are heat-treated, namely, are baked at the same time and thereby they are formed into one body together with the substrate 4 at the same time.

[0069] Depending upon a method of forming the driving electrode 2 and common electrode 3, any heat treatment, namely, baking for unification of them may not be needed.

[0070] A heat treatment temperature, namely, a baking temperature for forming the electric field applying portion 1, the driving electrode 2 and the common electrode 3 into one body together with the substrate 4 takes a temperature range of generally 500 to 1,400 DEG C, and preferably 1,000 to 1,400 DEG C. In order to keep stable the composition of the electric field applying portion 1 at a high temperature in case of applying heat treatment to the film-shaped voltage applying portion 1, it is preferable to perform heat treatment, namely, baking as controlling the vapor source and the atmosphere of the electric field applying portion 1, and it is preferable to adopt a technique of baking as preventing the surface of the electric field applying portion 1 from being exposed directly to the baking atmosphere by covering the electric field applying portion 1 with a proper member. In this case a material similar to the substrate 4 is used as the covering member.

[0071] Figure 2A is a top view of a second embodiment of the electron-emitting element according to the present invention, and Figure 2B is a sectional view taken along a line II-II of it. This electron-emitting element has an electric field applying portion 11, a driving electrode 12 and a common electrode 13 respectively corresponding to the electric field applying portion 1, the driving electrode 2 and the common electrode 3, and additionally to them, further has a driving terminal electrode 14 as a fourth electrode formed on the other surface of the electric field applying portion 11, and they are formed on a substrate 15. In this case, also, preferably in order to capture emitted electrons well, the electron-emitting element

further has an electron capturing electrode 16 as a third electrode being arranged at a certain space to one surface of the electric field applying portion 11, and keeps the space therebetween in a vacuum state.

[0072] In this embodiment, since the electric field applying portion 11 between the driving electrode 12 and the driving terminal electrode 14 acts as a capacitor, it is not necessary to provide an additional capacitor in order to prevent breakage caused by short-circuit between the driving electrode 12 and the common electrode 13. In this case, a pulse voltage is applied to the driving terminal electrode 14 and a direct offset voltage is applied to the common electrode 13.

[0073] The driving terminal electrode 14 is also formed by means of a similar material and technique to those for the driving electrode 12 and the common electrode 13, and preferably formed by means of one of the above-mentioned thick film forming methods. The thickness of the driving terminal electrode 14 is also generally not more than 20  $\mu\text{m}$ , and preferably not more than 5  $\mu\text{m}$ .

[0074] Figure 3A is a top view of a third embodiment of the electron-emitting element according to the present invention, and Figure 3B is a sectional view taken along a line III-III of it. In this embodiment, similarly to the first embodiment, a driving electrode 22 and a common electrode 23 are formed on one surface of an electric field applying portion 21, and a plurality of carbon nanotubes (CNT) are provided on the surfaces of these driving electrode 22 and common electrode 23, and thereby it is easy to emit electrons from the top of the CNT when applying a pulse voltage to the driving electrode 22 and applying a direct offset voltage to the common electrode 23.

[0075] Figure 4A is a top view of a fourth embodiment of the electron-emitting element according to the present invention, and Figure 4B is a sectional view taken along a line IV-IV of it. In this embodiment, similarly to the second embodiment, a driving electrode 32 and a common electrode 33 are formed on one surface of an electric field applying portion 31, and a driving terminal electrode 34 is formed on the other surface of it, and a plurality of carbon nanotubes (CNT) are provided on the surfaces of these driving electrode 32 and common electrode 33, and thereby it is easy to emit electrons from the top of the CNT when applying a pulse voltage to the driving electrode 32 and applying a direct offset voltage to the common electrode 33.

[0076] Figure 5A is a top view of a fifth embodiment of the electron-emitting element according to the present invention, and Figure 5B is a sectional view taken along a line V-V of it. In this embodiment, a driving electrode 42 and a common electrode 43 which are in the shape of the teeth of a comb are formed on one surface of an electric field applying portion 41. In this case, it is easy to emit electrons from the angular parts of these driving electrode 42 and common electrode 43.

[0077] Figure 6A is a top view of a sixth embodiment of the electron-emitting element according to the present invention, and Figure 6B is a sectional view taken along a line VI-VI of it. In this embodiment, the electron-emitting element has electric field applying portions 51a, 51b made of an antiferroelectric material, and driving electrodes 52a, 52b and common electrodes 53a, 53b which are in the shape of the teeth of a comb and are formed respectively on one-side surfaces of the electric field applying portions 51a, 51b.

[0078] The electron-emitting element is disposed on a sheet layer 56 provided through a spacer layer 54 on a substrate 55. Thereby, the electric field applying portions 51a, 51b, the driving electrodes 52a, 52b, the common electrodes 53a, 53b, the sheet layer 56 and the spacer layer 54 form actuators 57a, 57b, respectively.

[0079] As an antiferroelectric material for forming the electric field applying portions 51a, 51b, it is preferable to use a material having lead zirconate as its main ingredient, a material having a component consisting of lead zirconate and lead stannate as its main ingredient, a material obtained by adding lanthanum oxide to lead zirconate, or a material obtained by adding lead zirconate or lead niobate to a component consisting of lead zirconate and lead stannate. Particularly, in case of driving the electron-emitting element at a low voltage, it is preferable to use an antiferroelectric material containing a component consisting of lead zirconate and lead stannate. Its composition is as follows.  $\text{Pb}_{0.99}\text{Nb}_{0.02}[(\text{Zr}_x\text{Sn}_{1-x})_{1-y}\text{Ti}_y]_{0.98}\text{O}_3$

[0080] And the antiferroelectric materials can be also made porous, and in this case it is preferable to make the porosity be not more than 30%.

[0081] The electric field applying portions 51a, 51b are preferably formed by means of one of the above-mentioned thick film forming methods, and a screen printing method is preferably in particular used by reason that it can perform inexpensively a fine printing. The thickness of the electric field applying portions 51a, 51b is made to be preferably 50  $\mu\text{m}$  or less and more preferably 3 to 40  $\mu\text{m}$  from the reason of obtaining a large displacement at a low operating voltage and the like.

[0082] By such a thick film forming technique, a film can be formed on the surface of the sheet layer 56 using paste or slurry having as its main ingredient antiferroelectric ceramic particles having the average



particle diameter of 0.01 to 7  $\mu\text{m}$ , preferably 0.05 to 5  $\mu\text{m}$ , and a good element characteristic can be obtained.

[0083] An electrophoresis method can form a film in a high density under a high shape control, and has features as described in technical papers "DENKI KAGAKU (ELECTROCHEMISTRY) 53, No.1(1985), pp.63-68 by Kazuo Anzai" and "First Study Meeting On Method For High Order Forming Of Ceramic By Electrophoresis, Collection of Papers (1998), pp.5-6 and pp.23-24". Therefore, it is preferable to properly select and use a technique from various techniques in consideration of required accuracy, reliability and the like.

[0084] The sheet layer 56 is relatively thin and has a structure liable to receive vibration from an external stress. The sheet layer 56 is preferably composed of a high heat-resisting material. The reason is to prevent the sheet layer 56 from deteriorating in quality at least when forming the electric field applying portions 51a, 51b in case of using a structure directly supporting the sheet layer 56 without using a material being comparatively low in heat resistance such as an organic adhesive and the like at the time of joining a driving terminal electrode directly to the sheet layer 56 as shown in Figures 2 and 4. In case of forming the sheet layer 56 out of ceramic, it is formed in a similar manner to the substrate 4 in Figure 1.

[0085] The spacer layer 54 is preferably formed out of ceramic, and it may be formed out of the same material as or a different material from a ceramic material forming the sheet layer 56. As such ceramic, in the same manner as a ceramic material for forming the sheet layer 56, for example, stabilized zirconium oxide, aluminum oxide, magnesium oxide, titanium oxide, spinel, mullite, aluminum nitride, silicon nitride, glass, a mixture of these, and the like can be used.

[0086] As ceramic materials different from ceramic materials forming the spacer layer 54, the substrate 55 and the sheet layer 56, a material having zirconium oxide as its main ingredient, a material having aluminum oxide as its main ingredient, a material having a mixture of these as its main ingredient and the like are preferably adopted. Among them, a material having zirconium oxide as its main ingredient is particularly preferable. Clay or the like may be added as a sintering adjuvant, but it is necessary to adjust the composition of such an adjuvant so as not to contain excessively such an ingredient being liable to glass as silicon oxide, boron oxide and the like. The reason is that these materials liable to glass are advantageous from the viewpoint of joining with the electric field applying portions 51a, 51b, but they accelerate reaction with the electric field applying portions 51a, 51b, make it difficult for the electric field applying portions 51a, 51b to keep their specified composition, and as the result, causes the element characteristics to be deteriorated.

[0087] That is to say, it is preferable to limit silicon oxide and the like contained in the spacer layer 54, the substrate 55 and the sheet layer 56 to not more than 3% in weight, preferably not more than 1%. Here, an ingredient occupying not less than 50% in weight is referred to as the main ingredient.

[0088] The spacer layer 54, the substrate 55 and the sheet layer 56 are preferably formed into a 3-layered laminate, and in this case, for example, simultaneous unification baking, joining the respective layers by glass or resin together with each other into one body or after-joining is performed. They can be also formed into a laminate having not less than four layers.

[0089] In case of forming the electric field applying portions 51a, 51b out of an antiferroelectric material like this embodiment, they become flat like the electric field applying portion 51b in a state where no electric field is applied, while they are bent and displaced in a convex shape like the electric field applying portion 51a when an electric field is applied to them. Since the space between the electron-emitting element and the electron capturing electrode 58 being opposite to it is made narrow by bending in such a convex shape, the straight advancing ability of electrons generated is more improved as shown by arrows. Therefore, it is possible to control the amount of emitted electrons to reach the electron capturing electrode 58 by means of this quantity of bending.

[0090] Next, the operation of the electron-emitting element according to the present invention is described.

[0091] Figure 7 is a diagram for explaining the operation of the electron-emitting element according to the present invention. In this case, a current control element 61 has a structure shown in Figure 1, and the circumstance of the current control element 61 is kept in a vacuum state by a vacuum chamber 62. And a capacitor 66 is arranged in series between a driving electrode 63 and a common electrode 64 in order to prevent short-circuit between the driving electrode 63 and the common electrode 64. A bias voltage  $V_b$  is applied to an electron capturing electrode 67 opposite to the driving electrode 63 and the common electrode 64.

[0092] In case of making the voltage  $V_1$  to be applied to a signal voltage source 65 be  $-400\text{ V}$ , the capacity of the capacitor 66 be  $500\text{ pF}$ , the bias voltage be  $0\text{ V}$ , the width of a slit formed by the driving electrode 63 and the common electrode 64 be  $10\text{ }\mu\text{m}$ , and the degree of vacuum inside the vacuum chamber 62 be  $1 \times 10^{-3}\text{ Pa}$ , the current  $I_1$  flowing through the driving electrode 63 becomes  $2.0\text{ A}$  and the density

of a collector current  $I_c$  taken from the electron capturing electrode 67 becomes  $1.2 \text{ A/cm}^2$ . As a result, according to an electron-emitting element of the present invention, a higher current density is obtained at a lower voltage and a lower degree of vacuum in comparison with a conventional electron-emitting element, and as a result an excellent straight advancing ability is displayed. As shown in Figure 7B, the collector current  $I_c$  becomes larger as the bias voltage  $V_b$  becomes higher.

[0093] Figure 8 is a diagram for explaining the operation of the other electron-emitting element according to the present invention. In this case, a current control element 71 has a structure shown in Figure 2, and the circumstance of the current control element 71 is kept in a vacuum state by a vacuum chamber 72. And an electric field applying portion 76 between a driving electrode 73 and a driving terminal electrode 75 acts as a capacitor in order to prevent short-circuit between the driving electrode 73 and the common electrode 74. An electron capturing electrode 77 is opposite to the driving electrode 73 and the common electrode 74.

[0094] In case of making the voltage  $V_1$  to be applied to a signal voltage source 78 be  $-400 \text{ V}$ , the capacity of the electric field applying portion 76 acting as a capacitor be  $530 \text{ pF}$ , the width of a slit formed by the driving electrode 73 and the common electrode 74 be  $10 \text{ }\mu\text{m}$ , and the degree of vacuum inside the vacuum chamber 72 be  $1 \times 10^{-3} \text{ Pa}$ , the current  $I_1$  flowing through the driving terminal electrode 75 becomes  $2.0 \text{ A}$  and the density of a collector current  $I_c$  taken from the electron capturing electrode 77 becomes  $1.2 \text{ A/cm}^2$ . As a result, according to another electron-emitting element of the present invention, a higher current density is obtained at a lower voltage and a lower degree of vacuum in comparison with a conventional electron-emitting element, and as a result an excellent straight advancing ability is displayed. The waveforms of the voltage  $V_1$ , and the currents  $I_c$ ,  $I_1$  and  $I_2$  are respectively shown by curves a to d in Figure 8B.

[0095] Figure 9 is a diagram showing an embodiment of the FED according to the present invention. This FED comprises a plurality of electron-emitting elements 81R, 81G and 81B arranged in two dimensions, and a red phosphor 82R, green phosphor 82G and blue phosphor 82B being arranged at a certain space to these electron-emitting elements 81R, 81G and 81B, respectively.

[0096] In this embodiment, the electron-emitting elements 81R, 81G and 81B are formed on a substrate 83, and the red phosphor 82R, green phosphor 82G and blue phosphor 82B are formed through the electron capturing electrode 84 on a glass substrate 85. The electron-emitting elements 81R, 81G and 81B each have a structure shown in Figure 2, but may have any of the structures shown in Figures 1 and 3 to 6.

[0097] According to this embodiment, since the electron-emitting elements 81R, 81G and 81B are excellent in straight advancing ability, the crosstalk is smaller compared with a case of having conventional electron-emitting elements and the pitch between the phosphors 82R, 82G and 82B can be narrower, and it is not necessary to provide a grid in order to prevent electrons from striking on adjacent phosphors 82R, 82G and 82B. As a result, the FED of this embodiment is preferable from the viewpoint of downsizing and cost reduction. Since it can emit electrons even if the degree of vacuum is comparatively low, it is not necessary to leave a margin for a lowering of vacuum by making the vacuum space large in advance and thus restrictions against making the FED thin-sized are reduced.

[0098] Figure 10 is a diagram showing the relation between the relative dielectric constant of an electron-emitting element according to the present invention and an applied voltage to it, and Figure 11 is a diagram for explaining it. The characteristic of Figure 10 shows the relation between the relative dielectric constant of an electric field applying portion and the applied voltage required for emission of electrons in case that each of the widths  $d_1$  and  $d_2$  of slits formed by a driving electrode 91 and common electrodes 92a to 92c as shown in Figure 11 is  $10 \text{ }\mu\text{m}$ .

[0099] As shown in Figure 10, in case of driving an electron-emitting element by means of a lower applied voltage compared with the conventional electron-emitting element, it is known that the relative dielectric constant is preferably not less than 1000.

[0100] Figure 12 is a diagram showing the relation between the width of a slit of the electron-emitting element according to the present invention and an applied voltage to it. From Figure 12 it is known that it is necessary to make the slit width be not more than  $500 \text{ }\mu\text{m}$  in order to make an electron emission phenomenon occur. In order to drive the electron-emitting element according to the present invention by means of a driver IC to be used in a plasma display, a fluorescent display tube or a liquid crystal display which are on the market, it is necessary to make the slit width be not more than  $20 \text{ }\mu\text{m}$ .

[0101] Figure 13A is a top view of a seventh embodiment of the electron-emitting element according to the present invention, and Figure 13B is a sectional view taken along a line VII-VII of it. In this embodiment, a driving electrode 102 and a common electrode 103 each being in the shape of a semicircle are formed on one side of an electric field applying portion 101, and a carbon coating 104 is applied to the driving electrode 102, the common electrode 103 and a slit formed by them.

[0102] The operation of the electron-emitting element having a structure shown in Figure 13 is described with reference to Figure 14. In this case, the periphery of the electron-emitting element is kept in a vacuum state by a vacuum chamber 111. A capacitor 113 is arranged in series between the driving electrode 102 and the voltage signal source 112 in order to prevent short-circuit between the driving electrode 102 and the common electrode 103. An electron capturing electrode 114 opposite to the driving electrode 102 and the common electrode 103 has a phosphor 115 provided on it and has a bias voltage  $V_b$  applied to it.

[0103] The driving electrode 102 and the common electrode 103 each are an Au film of 3  $\mu\text{m}$  in thickness, and a carbon coating 104 (of 3  $\mu\text{m}$  in film thickness) is applied to these driving electrode 102 and common electrode 103 and the slit part therebetween. In case of making a voltage  $V_k$  to be applied to the signal voltage source 112 be 25 V, making the capacity of the capacitor 113 be 5 nF, making a bias voltage  $V_b$  be 300 V, forming the electric field applying portion 101 out of an electrostrictive material of 14,000 in relative dielectric constant, making the width of a slit formed by the driving electrode 102 and the common electrode 103 be 10  $\mu\text{m}$ , and making the degree of vacuum inside the vacuum chamber 111 be  $1 \times 10^{-3}$  Pa, a current  $I_c$  flowing through the electron capturing electrode 114 becomes 0.1 A and a current of about 40% of a current  $I_1$  (0.25 A) flowing through the driving electrode 102 is taken as an electron current, and a voltage  $V_s$  between the driving electrode 102 and the common electrode 103, namely, a voltage required for emission of electrons becomes 23.8 V. As a result, according to the electron-emitting element shown in Figure 13, a voltage necessary for emission of electrons can be remarkably lowered. And the carbon coating 104 reduces remarkably the possibility that the driving electrode 102 and the common electrode 103 are damaged by collision of electrons or ions, or by generation of heat. The waveforms of the current  $I_1$  flowing through the driving electrode 102, the currents  $I_2$ ,  $I_c$  flowing through the common electrode 103, and the voltage  $V_s$  are respectively shown by curves e to h in Figure 14B.

[0104] Figure 15A is a top view of an eighth embodiment of the electron-emitting element according to the present invention, and Figure 15B is a sectional view taken along a line VIII-VIII of it. In this embodiment, a driving electrode 202 and a common electrode 203 each being in the shape of a semicircle are formed on one side of an electric field applying portion 201.

[0105] It is described with reference to Figure 16 that electrons are emitted at a low vacuum of not more than 200 Pa also in case of an electron-emitting element having a structure shown in Figure 15, namely, in case of having no carbon coating. In this case, the circumstance of the electron-emitting element is kept in a vacuum state by a vacuum chamber 211. A capacitor 213 is arranged in series between the driving electrode 202 and a voltage signal source 212. An electron capturing electrode 214 opposite to the driving electrode 202 and the common electrode 203 has a phosphor 215 provided on it and has a bias voltage  $V_b$  applied to it.

[0106] A material for each of the driving electrode 102 and the common electrode 103 is Au, and in case of making a voltage  $V_k$  to be applied to the signal voltage source 212 be 160 V, making the capacity of the capacitor 213 be 5 nF, making the bias voltage  $V_b$  be 300 V, forming the electric field applying portion 201 out of an electrostrictive material of 4,500 in relative dielectric constant, making the width of a slit formed by the driving electrode 202 and the common electrode 203 be 10  $\mu\text{m}$ , and making the degree of vacuum inside the vacuum chamber 211 be 200 Pa or less, a current  $I_c$  flowing through the electron capturing electrode 214 becomes 1.2 A and a current of about 60% of a current  $I_1$  (2 A) flowing through the driving electrode 202 is taken as an electron current, and a voltage  $V_s$  between the driving electrode 202 and the common electrode 203, namely, a voltage required for emission of electrons becomes 153 V. The waveforms of the currents  $I_1$ ,  $I_2$  and  $I_c$ , and the voltage  $V_s$  are respectively shown by curves i to l in Figure 16B.

[0107] It is the same also in case of having a carbon coating that a sufficient electron emission can be made at a very low vacuum of not more than 200 Pa as described above.

[0108] Since the electron-emitting element according to the present invention can emit electrons at a very low vacuum of not more than 200 Pa, in case of forming an FED, it is possible to make very small a sealed space of the outer circumferential part of a panel, and thus it is possible to realize a narrow-frame panel. And in case of make a large-sized display by arranging a plurality of panels, a joint between panels is made hard to be conspicuous. Further, in a conventional FED the degree of vacuum of a space inside the FED is lowered by gas produced from a phosphor and the like and there is the possibility that the durability of a panel receives a bad influence, but since a display using the electron-emitting element according to the present invention can emit electrons at a very low vacuum of not more than 200 Pa, a bad influence caused by lowering of the degree of vacuum of a space inside the FED is greatly reduced and the durability and reliability of the panel are greatly improved.

[0109] The electron-emitting element according to the present invention and the FED using it can be more simplified and made more small-sized in comparison with those of the prior art. Concretely explaining them, first since the degree of vacuum in a space inside an FED can be made low, an enclosure supporting structure facing a pressure difference between the inside and the outside of the outer circumferential sealed part and the like of an FED can be simplified and made small-sized.

[0110] And since an applied voltage necessary for emitting electrons and a bias voltage to be applied to an electron capturing electrode can be made comparatively low, the FED does not need to be of a pressure-resisting structure and it is possible to make the whole display device small-sized and the panel thin-sized. A bias voltage to be applied to the electron capturing electrode may be 0 V.

[0111] And since the electric field applying portion of the electron-emitting element according to the present invention can be formed without the need of a special processing as required in case of forming an electron-emitting element of a Spindt type and furthermore the electrodes and the electric field applying portion can be formed by a thick film printing method, an electron-emitting element according to the present invention and an FED using it can be manufactured in lower cost in comparison with those of the prior art.

[0112] Moreover, since an applied voltage necessary for emitting electrons and a bias voltage to be applied to an electron capturing electrode can be made comparatively low, a driving IC being comparatively low in dielectric strength, small-sized and inexpensive can be used and therefore an FED using an electron-emitting element according to the present invention can be manufactured in low cost.

[0113] The present invention is not limited to the embodiments described above but can be variously modified and varied in many manners.

[0114] For example, the electron-emitting element according to the present invention can be also applied to another application such as backlighting. Since the electron-emitting element according to the present invention can emit a comparatively large amount of electron beam at a comparatively low voltage, it is preferable for forming a small-sized and high-efficiency sterilizer in place of a conventional sterilizer using mainly an ultraviolet ray emission method. And the electron-emitting element according to the present invention can adopt any other electrode structure having an angular part. Further, it can arrange a resistor in series between a second electrode, namely, a common electrode and a direct offset voltage source in order to prevent short-circuit between a driving electrode and a common electrode.

[0115] In the sixth embodiment, the case where the electric field applying portions 51a, 51b are formed out of an antiferroelectric material has been described, but it is enough that the electric field applying portions 51a, 51b are formed out of at least one of a piezoelectric material, an electrostrictive material and an antiferroelectric material. In case of using a piezoelectric material and/or an electrostrictive material, there can be used for example a material having lead zirconate (PZ-based) as its main ingredient, a material having nickel lead niobate as its main ingredient, a material having zinc lead niobate as its main ingredient, a material having manganese lead niobate as its main ingredient, a material having magnesium lead tantalate as its main ingredient, a material having nickel lead tantalate as its main ingredient, a material having antimony lead stannate as its main ingredient, a material having lead titanate as its main ingredient, a material having magnesium lead tungstate as its main ingredient, a material having cobalt lead niobate as its main ingredient, or a composite material containing an optional combination of these materials, and among them a ceramic material containing lead zirconate is most frequently used as a piezoelectric material and/or an electrostrictive material.

[0116] In case of using a ceramic material as a piezoelectric material and/or an electrostrictive material, a proper material obtained by properly adding an oxide of lanthanum, barium, niobium, zinc, cerium, cadmium, chromium, cobalt, antimony, iron, yttrium, tantalum, tungsten, nickel, manganese, lithium, strontium, bismuth or the like, or a combination of some of these materials or other compounds to the ceramic material, for example, a material obtained by adding a specific additive to it so as to form a PZT-based material is also preferably used.

[0117] Among these piezoelectric materials and/or electrostrictive materials, a material having as its main ingredient a component consisting of magnesium lead niobate, lead zirconate and lead titanate, a material having as its main ingredient a component consisting of nickel lead niobate, magnesium lead niobate, lead zirconate and lead titanate, a material having as its main ingredient a component consisting of magnesium lead niobate, nickel lead tantalate, lead zirconate and lead titanate, a material having as its main ingredient a component consisting of magnesium lead tantalate, magnesium lead niobate, lead zirconate and lead titanate, and a material substituting strontium and/or lanthanum for some part of lead in these materials and the like are preferably used, and they are preferable as a material for forming the electric field applying portions 51a, 51b by means of a thick film forming technique such as a screen printing method and the like as described above.

[0118] In case of a multiple-component piezoelectric material and/or electrostrictive material, its piezoelectric and/or electrostrictive characteristics vary depending upon the composition of their components, and a three-component material of magnesium lead niobate-lead zirconate-lead titanate, or a four-component material of magnesium lead niobate-nickel lead tantalate-lead zirconate-lead titanate or a four-component material of magnesium lead tantalate-magnesium lead niobate-lead zirconate-lead titanate preferably has the composition in the vicinity of the phase boundary of pseudo-cubic system-tetragonal system-rhombohedral system, and particularly the composition of magnesium lead niobate of

15 to 50 mol%, lead zirconate of 10 to 45 mol% and lead titanate of 30 to 45 mol%, the composition of magnesium lead niobate of 15 to 50 mol%, nickel lead tantalate of 10 to 40 mol%, lead zirconate of 10 to 45 mol% and lead titanate of 30 to 45 mol%, and the composition of magnesium lead niobate of 15 to 50 mol%, magnesium lead tantalate of 10 to 40 mol%, lead zirconate of 10 to 45 mol% and lead titanate of 30 to 45 mol% are preferably adopted from the reason that they have a high piezoelectricity constant and a high electro-mechanical coupling coefficient.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

FIG. 1A

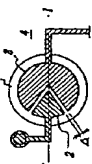
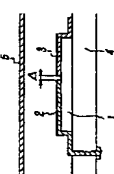


FIG. 1B



1/16

FIG. 2A

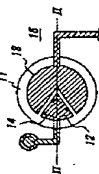
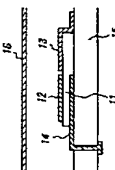


FIG. 2B



2/16

FIG. 3A

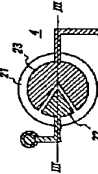
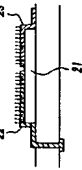


FIG. 3B



3/16

FIG. 4A

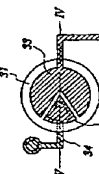
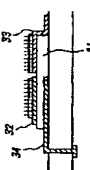


FIG. 4B



4/16

FIG. 5A

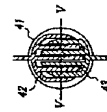
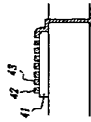


FIG. 5B



5/16

FIG. 6A

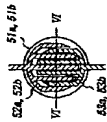
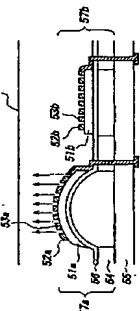


FIG. 6B



6/16

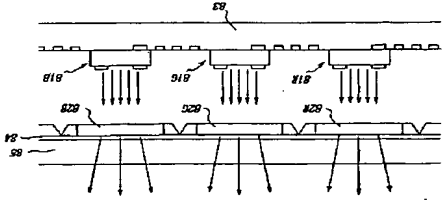


FIG. 9

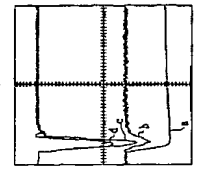
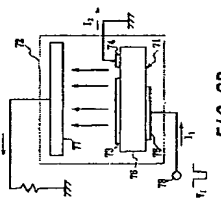


FIG. 8B

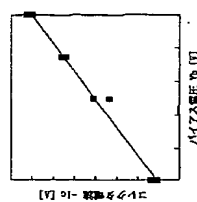
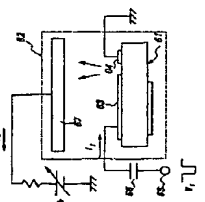


FIG. 7B

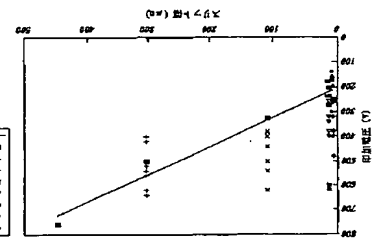


FIG. 12

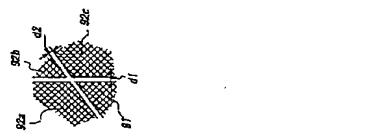


FIG. 11

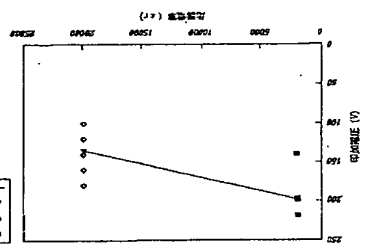


FIG. 10

FIG. 13A

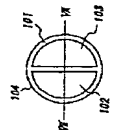


FIG. 13B

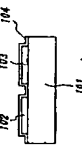


FIG. 14A

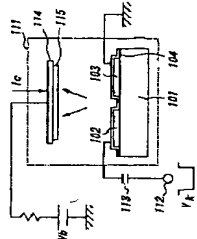


FIG. 14B

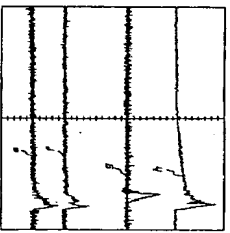


FIG. 15A

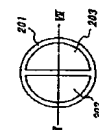


FIG. 15B

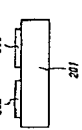


FIG. 16A

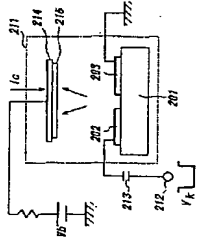


FIG. 16B

